

COURS

DE

COSMOGRAPHIE.

Propriété.

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR.

LIBRAIRIE CLASSIQUE DE PERISSE FRÈRES.

COURS D'ARITHMÉTIQUE à l'usage des aspirants à l'École polytechnique. Un vol. in-8. Septième édition. Ouvrage adopté et recommandé par l'Université. Prix : 3 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE ET DE TRIGONOMÉTRIE à l'usage des aspirants à l'École polytechnique. Un vol. in-8 avec planches. Quatrième édition. Ouvrage adopté et recommandé par l'Université. Prix : 5 fr.

COURS D'ALGÈBRE à l'usage des aspirants à l'École polytechnique. Un vol. in-8. Prix : 6 fr.

FLORE DU DAUPHINÉ. Deux vol. gr. in-12 avec planch. Prix : 10 fr.

TRAITÉ D'ASTRONOMIE, à l'usage des gens du monde. 1 vol. in 8, avec planches. Prix : 6 fr.

ÉLÉMENTS D'ASTRONOMIE, ou Cosmographie des Écoles primaires. Un vol. in-12.

ÉLÉMENTS D'ASTRONOMIE, ou Cosmographie des institutions de demoiselles. Un vol. in-12.

ÉLÉMENTS D'ARITHMÉTIQUE, à l'usage des institutions de demoiselles ; par mademoiselle Laure MUTEL. 1 vol. in-12. Prix : 1 fr. 50 c.

ÉLÉMENTS D'ARITHMÉTIQUE, à l'usage des écoles primaires ; par mademoiselle Laure MUTEL, et revus par M. MUTEL. Prix : 1 fr. 50 c.

Sous presse pour paraître à Pâques 1841 :

COMPLÉMENT DU COURS DE COSMOGRAPHIE. Un vol. in-8 avec planches.

LIBRAIRIE P. BERTRAND,

(Dépôt de veuve Levrault),

PARIS, RUE SAINT-ANDRÉ-DES-ARTS, 38.

FLORE FRANÇAISE, destinée aux herborisations. Quatre vol. in-18 avec quatre atlas oblongs contenant 650 figures. Prix : 32 fr.

LIBRAIRIE BAILLIÈRE,

PARIS, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 13 bis.

FLORE DU DAUPHINÉ. Deux vol. gr. in-12 avec pl. Prix : 10 fr.

PREMIER MÉMOIRE SUR LES ORCHIDÉES. Broch. in-8 avec planches. Prix : 2 fr.

Sous presse :

SECOND MÉMOIRE SUR LES ORCHIDÉES, contenant 65 espèces exotiques toutes figurées. Un vol. in-4.

PARIS. — IMPRIMERIE DE SCHNEIDER ET LANGRAND, RUE D'ERFURTH, 1.

COURS

DE

COSMOGRAPHIE

RÉDIGÉ

SELON LE PROGRAMME DE L'UNIVERSITÉ,

EN N'EMPLOYANT QUE LES NOUVELLES MESURES;

PAR A. MUTEL,

CAPITAINE COMMANDANT D'ARTILLERIE, CHEVALIER DE LA LÉGION D'HONNEUR,
MEMBRE DE PLUSIEURS ACADÉMIES ET SOCIÉTÉS ROYALES.

OUVRAGE ADOPTÉ PAR L'UNIVERSITÉ.

SECONDE ÉDITION.

LIBRAIRIE CLASSIQUE DE PERISSE FRÈRES,

PARIS, 8, RUE DU POT-DE-FER-SAINT-SULPICE.



LYON, 33, GRANDE RUE MERCIÈRE.

1840

Dédicace de la première édition.

A MONSIEUR POISSON,

MEMBRE DE L'INSTITUT, PAIR DE FRANCE, COMMANDEUR DE L'ORDRE ROYAL DE LA LÉGION-D'HONNEUR.

Monsieur,

L'accueil plein de bonté que vous avez daigné faire à mon nouvel ouvrage montre assez que vous ne négligez aucun moyen d'encourager à l'étude des sciences, qui vous doivent d'immenses perfectionnements. Le suffrage d'un des premiers géomètres de l'époque me fait espérer que cette Cosmographie, destinée à remplir la dernière lacune qui existe dans l'enseignement universitaire, sera favorablement reçue. Vivement pénétré d'une aussi éclatante faveur, je suis avec la plus profonde vénération,

Monsieur,

Votre très-humble et très-obéissant serviteur,

Le Capitaine d'Artillerie,

MUTEL.

Douai, le 21 décembre 1837.

AVERTISSEMENT.

Dans cette nouvelle édition, comme dans la précédente, j'ai suivi pas à pas le programme de l'Université. Mais pour me conformer à l'esprit de la loi du 4 juillet 1837, qui proscrit l'usage des anciennes mesures à dater de 1840, j'ai donné les distances et les dimensions des corps célestes uniquement en myriamètres. Dès lors, pour les questions non comprises dans le programme, je n'ai pu renvoyer à mon *Traité d'Astronomie*, qui ne contient partout que les anciennes mesures. Cette considération m'a déterminé, surtout dans l'intérêt des lecteurs du Cours de Cosmographie, à donner à cet ouvrage un *Complément*, disposé dans le même ordre, et qui, rédigé tout entier, ne va pas tarder à paraître.

Le désir d'être encore utile à la jeunesse, à qui je

n'ai cessé de consacrer tous les instants de loisir laissés par le service, m'a seul déterminé à cette nouvelle publication.

La distance moyenne du soleil à la terre a été fixée à 15 300 000 myriamètres. J'ai obtenu ce nombre en adoptant 8'',5776 pour la parallaxe horizontale moyenne du soleil, et en prenant pour rayon terrestre moyen celui de la terre supposée sphérique et équivalente à l'ellipsoïde dont elle a la figure.

Quant aux dimensions de l'ellipsoïde, je les ai déduites des nouvelles mesures du quart du méridien par MM. Arago et Biot.

ERRATA.

Page 15, ligne 3, au lieu de : balance *lisez* baleine.
Page 20, ligne 12, *supprimez* qu'on appelle effet parallactique.
Page 21, ligne 19, au lieu de : 4000' *lisez* 4000''.
Page 22, ligne dernière, au lieu de : 16 à 17 lieues *lisez* 6 à 7 myriamètres.
Page 54, ligne 3, au lieu de : qui a eu lieu *lisez* qui a lieu.
Page 57, ligne 21, au lieu de : 21 mars *lisez* 21 juin.
Page 97, ligne 5, au lieu de : le douzième *lisez* le double sixième.
Même page, ligne 26, au lieu de : aisément *lisez* exactement.
Page 135, ligne 21, au lieu de : 61' *lisez* 61''.

COURS

DE

COSMOGRAPHIE.

CHAPITRE PREMIER.

MOUVEMENT DIURNE DU CIEL.

I. — *Les étoiles décrivent, sans changer leur position relative, des circonférences parallèles dont les centres sont sur une même ligne droite perpendiculaire à leurs plans.*

1. Supposons un observateur placé sur une éminence convenable au commencement d'une nuit sereine. Il apercevra le ciel sous la forme d'une voûte surbaissée reposant sur la surface de la terre, et la rencontrant suivant une circonférence de cercle qu'on nomme *horizon*. Cette circonférence, bornant partout ses regards, lui semble être la ligne de réunion de la terre et du ciel, L'observateur étant tourné vers l'orient, verra les étoiles se lever, monter obliquement au-dessus de l'horizon en décrivant une courbe sur la voûte céleste, puis s'abaisser en se dirigeant à l'occident, toujours obliquement par rapport à l'horizon, et enfin disparaître. Ces étoiles sont suivies par d'autres qui, de même qu'elles, finissent par échapper aux regards de l'observateur. La courbe

que décrit une étoile coupe ainsi l'horizon en deux points, l'un à l'orient, qu'on appelle le *lever* de l'étoile, et l'autre à l'occident, qui est son *coucher*. L'observateur remarquera bientôt que plus le point du lever d'une étoile sera éloigné à l'est en se rapprochant du midi, plus le moment de son coucher sera voisin du moment de son lever, et que par conséquent l'étoile ne décrira au-dessus de l'horizon qu'une très-petite portion de courbe. A mesure qu'il suivra la marche d'étoiles dont le lever sera plus rapproché de lui, il verra leur courbe augmenter de plus en plus, ainsi que l'intervalle de temps compris entre leur lever et leur coucher. Se tournant ensuite vers le nord, il observera le phénomène inverse : à mesure que le point du lever des étoiles s'éloignera de lui en se rapprochant du nord, leur courbe diminuera de grandeur, et leur coucher retardera sur leur lever. L'une d'elles rasera l'horizon, et les étoiles situées au delà ne se coucheront jamais. L'observateur les apercevra dans toute l'étendue de leur courbe, qui diminuera de plus en plus jusqu'à se réduire à rien pour une étoile dont le mouvement est si peu sensible qu'elle paraît fixe à l'œil nu ; mais au moyen d'une lunette on reconnaît que cette étoile change un peu de place. Elle se nomme *étoile polaire*, parce que c'est autour d'un point très-voisin d'elle, et nommé *pôle*, que s'opère le mouvement céleste.

L'horizon changeant avec la position de l'observateur, il est facile de concevoir que le voyageur devra découvrir successivement de nouvelles étoiles, en même temps qu'il perdra de vue celles qui lui étaient d'abord visibles.

2. Supposons maintenant que l'observateur dirige les deux lunettes d'un instrument sur deux étoiles à leur lever : il pourra suivre ces étoiles dans toute leur marche en faisant mouvoir le système des deux lunettes sans avoir besoin de faire varier leur angle. La distance an-

gulaire des deux étoiles ne change donc pas, quoique à l'œil nu elle paraisse varier, ce qui provient d'un phénomène analogue à celui de la lune plus grosse à son lever qu'au milieu de sa course (112). Répétant la même opération sur deux autres étoiles, il trouvera encore le même résultat, et comme il en est de même pour toutes les étoiles prises deux à deux, soit *septentrionales*, qu'on peut suivre dans toute l'étendue de leur courbe, soit *méridionales*, dont on n'en peut observer qu'une partie, il en résulte que les configurations formées par les étoiles ne sont pas altérées dans leur mouvement d'orient en occident; c'est pour cela qu'on les appelle *étoiles fixes*. Une étoile qui se lève après une autre se lèvera toujours après elle, et après le même intervalle de temps. En outre, les points du lever et du coucher des étoiles sont invariables pour chacune d'elles, non-seulement pendant plusieurs nuits consécutives, mais pendant un très-grand nombre d'années.

3. C'est avec le même système des deux lunettes dont on vient de parler qu'on détermine la nature de la courbe décrite par les étoiles, dans le mouvement commun qui les transporte d'orient en occident. Dirigeons (fig. 1) une lunette sur l'étoile polaire parvenue à sa plus grande hauteur, au point E, et l'autre sur l'étoile descendue au point *e*, le point le plus bas de sa course; menons la droite O P, qui divise en deux parties égales l'angle H*oh* des lunettes. Le lieu de l'observation étant Paris, cette droite OP fait, avec l'horizon représenté par la ligne O H, un angle H O P égal à 48° 50′ 14″. Fixons invariablement la droite O P, et faisons tourner l'une des lunettes de manière à ce qu'elle fasse toujours le même angle E O P avec l'axe O P, nous pourrons suivre la polaire dans toute sa course. Or, dans ce mouvement autour de l'axe fixe OP, la lunette OE décrit une surface EO*e* appelée

conique, dont le lieu O de l'observation est le sommet. Donc chaque point de la génératrice OE, et par conséquent la polaire E, décrit une circonférence de cercle dont le plan est perpendiculaire à l'axe OP, et dont le centre est sur cet axe. (Voyez, pour les notions du cône, la 4e édit. de ma Géométrie, sect. VII, définit. 2.) Dirigeant ensuite la lunette sur une étoile quelconque E′, et la faisant tourner de sorte qu'elle fasse toujours le même angle avec l'axe fixe OP, on pourra de même suivre l'étoile dans toute sa course. Elle décrira donc une circonférence E′e′ dont le plan sera perpendiculaire à l'axe OP, et dont le centre C sera sur cet axe. D'où il résulte que toutes ces étoiles décrivent des circonférences de cercle dont les plans sont perpendiculaires à l'axe OP, et par conséquent parallèles entre eux. Donc enfin, selon l'énoncé, *les étoiles décrivent, sans changer leur position relative, des circonférences parallèles dont les centres sont sur une même ligne droite perpendiculaire à leurs plans.*

Les étoiles septentrionales étant visibles dans toute l'étendue de leur courbe, et les méridionales seulement dans leur partie supérieure, il est clair que leur mouvement circulaire ne peut se vérifier en totalité que pour les premières, et seulement en partie pour les secondes. Celles-ci décrivent des circonférences dont les centres sont sur la droite OP′, prolongement de OP. Ainsi, c'est autour de cette droite que s'opère le mouvement diurne qui transporte toutes les étoiles d'orient en occident.

II. — *Sphère céleste. — Axe. — Pôles. — Équateur. — Méridien. — Verticale. — Horizon. — Points cardinaux. — Zénith. — Nadir.*

4. Toutes les étoiles, vu leur immense distance, nous paraissent également éloignées, et par conséquent situées sur la surface d'une sphère qu'on appelle *sphère*

céleste. Cette illusion provient aussi du mouvement de rotation. Chaque étoile décrivant une circonférence dont le plan est perpendiculaire à la droite P P′ (fig. 1), l'ensemble de ces circonférences semble appartenir à une même sphère qui tourne ainsi tout d'une pièce d'orient en occident. Voilà pourquoi les anciens disaient que les étoiles étaient clouées à une sphère de cristal. En définitive, les apparences restent exactement les mêmes, en supposant les étoiles situées à leurs vraies distances, très-inégales par rapport à nous, ou bien aux points d'intersection des rayons visuels menés à ces étoiles avec une sphère concentrique avec la terre et d'un immense rayon. Nous admettrons provisoirement cette dernière hypothèse, qui simplifie l'exposé des phénomènes célestes.

5. La droite autour de laquelle s'exécute ce mouvement diurne de la sphère céleste s'appelle l'*axe du monde*. Les deux points où l'axe rencontre la sphère se nomment *pôles du monde :* l'un, *pôle nord* ou *pôle boréal*, situé au-dessus de notre horizon ; l'autre, *pôle sud* ou *pôle austral*, situé au-dessous.

Il n'existe aucune étoile au pôle ; mais, comme nous l'avons dit, on appelle *polaire* une étoile très-rapprochée de ce point, et dont le mouvement est si lent, qu'elle paraît fixe à l'œil nu. Elle décrit néanmoins une circonférence dont le rayon a 1° 35′ de valeur angulaire. L'axe du monde paraît passer dans chaque lieu d'où l'on observe les étoiles, parce que les droites menées d'une étoile aux deux extrémités d'un même diamètre de la terre, faisant un angle plus petit qu'un millième de seconde, peuvent être regardées comme parallèles.

Il y a une étoile située dans le plan perpendiculaire à l'axe et passant par le lieu de l'observation. Alors la surface conique décrite par la lunette dirigée sur l'étoile devient un plan, et la valeur angulaire du rayon est infinie.

C'est le seul cas où l'on ne peut la mesurer. On appelle *équateur* ou *cercle équinoxial* l'intersection de la sphère céleste par ce plan, qui se nomme ainsi *plan de l'équateur* ou *plan équinoxial*, et l'étoile qu'il contient se nomme *équatoriale*. Il divise la sphère céleste en deux hémisphères égaux, l'un *boréal*, l'autre *austral*. Ordinairement le plan de l'équateur passe par le centre de la terre, mais par rapport aux étoiles, il est indifférent qu'il passe plutôt par un point de la terre que par un autre ; il doit seulement être perpendiculaire à la droite prise pour axe du monde.

6. On nomme *plan méridien* un plan quelconque passant par l'axe du monde, et par conséquent perpendiculaire à l'équateur. Chaque point de la terre a son plan méridien ; le *méridien* est le grand cercle intersection de la sphère céleste par un plan méridien.

On nomme *verticale* d'un lieu la direction que suit la pesanteur dans ce lieu; on la trouve facilement au moyen d'un fil à plomb abandonné à lui-même. La verticale se définit encore une perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles. Tout plan passant par une verticale se nomme *plan vertical*.

L'*horizon* d'un lieu est l'intersection de la sphère céleste et du plan mené par ce lieu perpendiculairement à la verticale. Cet horizon, qu'on appelle *sensible*, *terrestre* ou *matériel*, est la partie de ce même plan limitée par la vue de l'observateur. C'est pour cela que l'horizon nous apparaît sous forme d'un cercle contenant tous les objets que nous pouvons apercevoir du lieu où nous sommes placés et qui en est le centre, notre vue n'étant gênée par aucun édifice. De là vient que tout plan perpendiculaire à une verticale se nomme *plan horizontal*, et la surface des eaux tranquilles, étant le plan horizontal le plus parfait qu'on puisse imaginer, a été choisie

à cause de cette propriété, pour définir généralement la verticale.

On appelle *horizon rationnel* le plan mené par le centre de la terre, parallèlement à l'horizon sensible.

L'intersection du plan méridien d'un lieu avec l'horizon sensible se nomme la *méridienne* de ce lieu. Elle détermine par ses extrémités le *nord* et le *sud* de l'horizon, dont *l'est* et *l'ouest* sont déterminés par les extrémités de la droite menée par le même lieu, et dans le plan de l'horizon, perpendiculairement à la méridienne.

Les quatre points *nord* ou *septentrion*, *sud* ou *midi*, *est* ou *orient*, *ouest* ou *occident*, forment ce qu'on appelle les *quatre points cardinaux ;* et un lieu est dit *orienté* dès qu'on connaît la position d'un de ces quatre points par rapport à ce lieu. Divisant en deux parties égales chacun des quatre angles droits formés par les lignes nord-sud, est-ouest, on obtient quatre positions intermédiaires nommées *nord-est, nord-ouest, sud-ouest, sud-est.*

8. La verticale d'un lieu, qu'on peut encore définir la droite menée dans le plan méridien de ce lieu perpendiculairement à la méridienne, rencontre la sphère céleste en deux points opposés, l'un supérieur nommé *zénith*, et l'autre inférieur, *nadir*.

9. La détermination du plan méridien, et par suite de la méridienne, se fait aisément au moyen de la lunette dite *méridienne* ou *instrument des passages*. C'est une lunette fixée perpendiculairement au milieu d'un support horizontal (fig. 2). Les tourillons qui terminent le support sont cylindriques, et reposent dans des encastrements placés sur un massif solide. L'instrument est muni des vis et niveaux nécessaires pour rendre le support exactement horizontal et perpendiculaire à l'axe de la lunette. L'oculaire et l'objectif de la lunette ont un foyer commun F où se trouve situé un fil très-fin vertical, ou mieux

un système de cinq fils verticaux équidistants, croisés en leur milieu, à angle droit, par un fil horizontal. Lorsque l'instrument est bien ajusté, si l'on fait tourner le support sur lui-même, le fil milieu décrit un plan vertical qu'il reste à faire passer par le pôle pour avoir le plan méridien. D'abord il est facile de s'assurer que les étoiles font leur révolution en des temps égaux ; car si l'on note l'instant où l'étoile qu'on veut observer vient se cacher derrière le fil milieu, et qu'on répète la même opération plusieurs nuits de suite, on trouve que l'étoile emploie exactement le même temps pour revenir au même plan vertical. On peut observer chaque nuit un grand nombre d'étoiles sans déranger l'instrument, et même faire deux observations pour les étoiles septentrionales. Si le plan vertical décrit par le fil milieu de la lunette passe par le centre de la circonférence décrite par l'étoile observée, ce plan coupera la circonférence en deux arcs égaux qui seront parcourus en deux temps égaux. Dans le cas contraire, l'inégalité des arcs sera indiquée par celle des temps; mais, au moyen des vis de rappel, on amènera facilement le plan vertical du fil milieu à passer par le centre de la circonférence de l'étoile. Ce plan, passant alors par la verticale du lieu et par l'axe du monde qui contient le centre de toutes les circonférences décrites par les étoiles, sera le plan méridien déterminé avec une grande précision par la mesure du temps; et, plaçant à l'horizon une mire éloignée qui corresponde avec le fil milieu, cette mire et le fil détermineront la méridienne. Les cinq fils équidistants servent à faire cinq observations consécutives, dont la moyenne donne une grande exactitude au résultat.

10. Le plan méridien contenant le point culminant et le point le plus bas de la circonférence décrite par une étoile, il est clair que si l'on place dans ce plan un quart

de cercle, et qu'on dirige la lunette sur le point culminant suivant L E (fig. 3), et sur le point le plus bas suivant *l e*, la droite O P′ menée par le point milieu de l'arc L *l*, donnera la direction du pôle P. Pour plus de facilité, on place verticalement le côté qui joint le centre de l'instrument au zéro de la graduation.

La droite OH représentant l'horizon, OV la verticale du lieu, et OM une perpendiculaire à l'axe du monde OP, on voit que les angles HOP, VOM sont égaux comme compléments du même angle P O V. Donc la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon égale la distance angulaire du zénith à l'équateur, ou la latitude du lieu.

III. — *Uniformité du mouvement des étoiles. Jour sidéral.*

11. Nous venons de voir que les retours consécutifs d'une même étoile au méridien s'opéraient dans des temps égaux. En outre chaque étoile décrit sa circonférence d'un mouvement uniforme, c'est-à-dire, qu'elle parcourt des arcs d'un même nombre de degrés dans des temps égaux. Cette uniformité de mouvement se vérifie aisément au moyen d'un cercle de cuivre gradué, dont le centre est sur l'axe autour duquel tourne la lunette destinée à suivre l'étoile dans sa course, et dont le plan est perpendiculaire à cet axe. Dirigeant la lunette sur l'étoile à un point quelconque de sa course, et suivant toujours l'étoile avec la lunette, on trouve que celle-ci décrit dans un même temps des arcs égaux ee', $e'e''$,... (fig. 4), et par conséquent des arcs doubles, triples,... dans un temps double, triple.... Dirigeant ensuite la lunette sur une autre étoile quelconque, et la suivant de même, la lunette décrit, dans le même tems *t*, des arcs E E′, E′E″,... égaux entre eux et d'un même nombre de degrés que les premiers. Par conséquent le mouvement général qui transporte les étoiles d'orient en occident est *uniforme;*

c'est le nom qu'on donne au mouvement dans lequel des espaces égaux sont parcourus en des temps égaux.

12. L'intervalle de temps, qui sépare deux retours consécutifs d'une même étoile quelconque au méridien, se nomme *jour sidéral*. Il se divise en 24 heures, l'heure en 60 minutes, la minute en 60 secondes. D'un autre côté, la circonférence étant divisée en 360°, le degré en 60 minutes, et la minute en 60 secondes, il en résulte qu'une étoile parcourt dans une heure un arc égal à $\frac{360^\circ}{24}$ ou 15°. Ainsi pour convertir un temps donné en degrés, il faut multiplier par 15 les heures, minutes et secondes du temps donné. Réciproquement, pour réduire en temps un certain nombre de degrés, minutes et secondes, il faut diviser par 15 les degrés, les minutes et les secondes.

13. Les circonférences que décrivent les étoiles sont, comme nous l'avons vu, parallèles au plan de l'équateur, et s'appellent les *parallèles célestes;* ce sont de petits cercles. Les plans *horaires* sont des plans quelconques passant par l'axe du monde, et par conséquent perpendiculaires à l'équateur; leurs intersections avec la sphère céleste donnent autant de méridiens célestes; ce sont de grands cercles. Chaque plan horaire vient dans sa marche coïncider à son tour avec le méridien.

Les étoiles, employant toutes 24 heures pour faire une révolution complète, ont nécessairement des vitesses différentes; celles voisines du pôle, décrivant les plus petites circonférences, ont le *minimum* de vitesse; l'étoile équatoriale, décrivant la plus grande circonférence, qui est l'équateur même, a le *maximum* de vitesse.

IV. — *Déclinaison et ascension droite des étoiles. — Description des principales constellations. — Globe céleste.*

14. Pour déterminer la position des étoiles, il faut les

rapporter à deux plans *coordonnés*. Le premier de ces plans est celui de l'équateur, très-naturellement indiqué par les circonstances du mouvement général des étoiles d'orient en occident. Le second plan, n'étant désigné par aucun phénomène naturel, sera le plan horaire d'une étoile quelconque, tous ces plans étant perpendiculaires à l'équateur, et venant à leur tour passer au méridien. La position de chaque étoile sera donc déterminée par deux arcs de grand cercle, l'un appelé sa *déclinaison*, et qui est la portion de son cercle horaire comprise entre l'étoile elle-même et l'équateur; l'autre appelé son *ascension droite*, et qui est la portion de l'équateur même comprise entre le cercle horaire de l'étoile choisie arbitrairement et celui de l'étoile qu'on observe.

15. La déclinaison d'une étoile se détermine aisément au moyen d'un quart de cercle gradué qu'on place dans le plan du méridien, de manière que le centre et le zéro de l'instrument soient dans la verticale du lieu (fig. 5). Car on a vu (10) que la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon était égale à la distance angulaire du zénith à l'équateur. Si l'on suppose que Paris est le lieu de l'observation, l'arc AP qui mesure cette distance angulaire sera de 48° 50′ 14″, et le rayon OP sera sur le quart de cercle la trace de l'équateur. Par conséquent, si l'on dirige la lunette sur une étoile quelconque M, l'arc PL mesurera la distance angulaire de l'étoile à l'équateur, et cette déclinaison sera *boréale* ou *australe*, selon que le point L sera situé au-dessous ou au-dessus du point P.

16. Pour obtenir l'ascension droite de la même étoile, rapportons-la au plan horaire d'une étoile choisie de position, α de la Lyre, par exemple. Après avoir ajusté la lunette méridienne dans le plan du méridien, notons l'instant où α passe au méridien, et attendons que l'étoile en question vienne y passer; ce sera 6 heures après,

je suppose; l'uniformité du mouvement des étoiles donnera la proportion $24 : 360° : : 6 : x$, où l'arc que l'on cherche, représenté par x, égale $\frac{6.360°}{24}$ ou 90°. Ayant ainsi obtenu la déclinaison et l'ascension droite d'une étoile, sa position sera déterminée par l'intersection d'un méridien et d'un parallèle céleste. En opérant de même pour toutes les étoiles, on pourra donc représenter la sphère céleste sur une sphère donnée.

17. Ceci suppose qu'on ait une montre ou pendule bien réglée, comme celles dont un observatoire est ordinairement pourvu, et qui ne varient guère que d'un 10e de seconde pendant l'intervalle de deux retours consécutifs d'une même étoile au méridien; ces montres se règlent chaque jour pour éviter l'accumulation des avances ou des retards qui altérerait l'exactitude des observations. L'intervalle de temps qui s'écoule entre les passages de deux étoiles au méridien donne ainsi la portion de la circonférence de l'équateur comprise entre les points où les étoiles s'y projètent par des arcs de cercle perpendiculaires; c'est ce même arc qui est l'ascension droite. Le point de l'équateur, à partir duquel on les mesure, se nomme leur *origine*.

S'il s'écoule 1′ entre les passages des deux étoiles, la distance angulaire des deux étoiles est de 15′. C'est la valeur de l'angle dièdre formé par le plan méridien et par le plan horaire de la seconde étoile au moment où la première est au méridien. Il en est de même pour les secondes, ainsi que pour les heures et degrés. Par conséquent, pour convertir un temps donné en arc, il faut, dans la division sexagésimale du jour et de la circonférence, multiplier les heures par 15, les minutes et les secondes aussi par 15, comme on l'a dit au n° 12.

18. Le quart de cercle est avantageusement remplacé dans les observations par un instrument connu sous le

nom de *cercle mural*, qui consiste en un cercle entier gradué, non sur le limbe, mais sur son épaisseur, et fixé dans le plan du méridien au moyen d'un support horizontal maintenu dans un mur. Mais comme le cercle mural n'est qu'un instrument méridien, on l'a fort heureusement modifié en donnant au cercle la faculté de se mouvoir autour d'un axe fixé dans son propre plan, et disposé parallèlement à l'axe du monde. Cet axe peut tourner sur lui-même, sans changer de position, et entraîne dans son mouvement de rotation le cercle qui lui est adhérent. Le même axe porte, plus bas que le cercle, une aiguille perpendiculaire, destinée à marquer sur un second cercle la quantité dont il tourne. Pour cet objet, le second cercle a son centre sur l'axe auquel il est perpendiculaire, sans toutefois lui être adhérent, de sorte qu'il est parallèle à l'équateur. Cet instrument, connu sous le nom de *cercle équatorial*, ou autrefois *machine parallactique*, sert à mesurer en même temps la déclinaison et l'ascension droite des étoiles, qui sont marquées, l'une sur le premier cercle, par l'angle que la lunette, dirigée sur une étoile, fait avec la perpendiculaire menée par le centre sur l'axe principal parallèle à l'axe du monde, l'autre sur le second cercle, par l'angle que l'aiguille aura parcouru à partir du point fixé pour origine des ascensions droites. (Voyez, pour plus de détails sur le cercle mural et sur le cercle équatorial, notre Complément du Cours de Cosmographie, n°s 5 à 9, auquel nous renvoyons.)

Ce dernier instrument, étant placé de manière que son axe principal soit vertical, et par conséquent le second cercle horizontal, sert à mesurer les *hauteurs* et les *azimuts* des étoiles, ce qui détermine encore leur position. L'*azimut* d'une étoile est l'angle que fait avec le plan méridien le plan du cercle vertical passant par l'étoile et le lieu de l'observation; et sa *hauteur* est l'arc du

même cercle vertical compris entre l'étoile et l'horizon.

19. Le nombre des étoiles est considérable, mais, à l'œil nu, on n'en aperçoit qu'environ 3000, disséminées d'une manière irrégulière. Pour s'y reconnaître, il était indispensable de les classer ; et, dans ce but, on a partagé le ciel en divers groupes d'étoiles nommés *constellations*, dont les figures, d'abord arbitraires, ont été empruntées à la fable ou à des objets d'histoire naturelle. Ainsi dans une partie du ciel on a dessiné un scorpion, et toutes les étoiles renfermées dans ce dessin ont été appelées étoiles du Scorpion, dénommant chacune par la position qu'elle occupait sur l'animal, par exemple : l'étoile de *tête* ou de la *queue* de scorpion. Mais pour plus de clarté, on est convenu de les désigner par les lettres de l'alphabet grec, affectant dans chaque constellation la lettre α à la plus brillante, la lettre β à celle qui brillait le plus après α, etc. En outre on a rangé toutes les étoiles en différentes classes par ordre d'éclat qu'on appelle *grandeur*. Les étoiles les plus brillantes ou de première grandeur sont dites *primaires* et forment la première classe ; celles qui brillent le plus après, ou de deuxième grandeur, sont dites *secondaires*, et forment la 2e classe, ainsi de suite jusqu'à la 6e ou 7e classe contenant les plus petites étoiles qu'on puisse découvrir à l'œil nu. Les autres classes jusqu'à la 16e contiennent les étoiles qu'on aperçoit seulement à l'aide de télescopes, et qu'on a pour cette raison appelées *télescopiques*. Cette classification, fondée sur l'éclat des étoiles, ou, ce qui est la même chose, sur leur grandeur apparente, n'a rien de stable. Car les étoiles regardées avec raison, dans le siècle dernier, comme de la première ou de la dernière grandeur, ont maintenant un tout autre rang ; ainsi, dans la constellation de l'Aigle, la 8e est maintenant plus grande que β ou la deuxième ; et même plusieurs étoiles ont fini par disparaître, entre autres la

57e d'Hercule. Il y a encore des étoiles qui ne conservent pas le même éclat pendant toute l'année. L'étoile o de la Balance passe en moins d'un an par toutes les intensités depuis zéro jusqu'à son *maximum*. L'étoile *Algol* ou α de *Persée* est très-faible à une certaine heure; un jour et dix heures après, elle est très-brillante; on ne peut la reconnaître que par sa configuration. Ces étoiles sont dites *périodiques*.

Généralement les étoiles sont blanches, quelques-unes sont rougeâtres ou bleuâtres. Plusieurs ont changé de couleur; *Sirius* par exemple, qui était rouge autrefois, est maintenant parfaitement blanc. (Voyez pour plus de détails sur les étoiles changeantes, soit périodiques, soit non périodiques, soit temporaires, notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 57 à 59.)

20. Les plus importantes constellations sont celles parcourues par le soleil, au nombre de douze, nommées *zodiacales* (55), très-bien connues des anciens, qui les appelaient les douze maisons du soleil, et les renfermaient dans les deux vers suivants :

Sunt aries, taurus, gemini, cancer, leo, virgo,
Libraque, scorpius, arcitenens, caper, amphora, pisces.

Le *Bélier* (planche IV) offre à la tête trois étoiles, et au nord-est un petit triangle de trois étoiles qu'on appelle la *Mouche*.

Le *Taureau* a l'œil occupé par une étoile primaire rougeâtre nommée *Aldebaran;* le front offre cinq étoiles nommées les *Hyades*, et en forme de V, dont *Aldebaran* est un sommet.

On voit vers le haut du dos un groupe condensé de six étoiles dites les *Pléiades*.

Les *Gémeaux*, qui ont pour têtes deux belles étoiles *Castor* et *Pollux*, l'une primaire, l'autre secondaire, for-

ment une sorte de rectangle oblique dont ces étoiles marquent un petit côté.

L'*Écrevisse* ou le *Cancer* est une petite constellation située entre les Gémeaux et le Lion. Son nom vient de ce que le soleil recule dans cette portion du ciel.

Le *Lion* forme un trapèze marqué par quatre étoiles brillantes, dont deux primaires, *Régulus* ou le *Cœur*, et la *Queue;* les deux autres sont secondaires. Le plus petit côté du trapèze sert de base à un triangle rectangle, dont le grand côté de l'angle droit sert lui-même de base à un petit trapèze dessiné par quatre étoiles.

La *Vierge* offre six étoiles dont une belle primaire nommée l'*Epi*, et cinq tertiaires en forme de V très-ouvert.

La *Balance* est un quadrilatère formé de quatre étoiles, dont deux secondaires, qui sont les plateaux, et deux tertiaires. Cette constellation est ainsi nommée parce que les jours sont égaux aux nuits quand le soleil s'y trouve.

Le *Scorpion* a le cœur formé par *Antarès*, belle étoile primaire. Entre celle-ci et la Balance est un arc composé de 5 étoiles, dont celle du milieu, faisant le *front* du Scorpion, est une étoile secondaire. La *queue* est formée d'une suite de petites étoiles dessinant une crosse.

Le *Sagittaire* est composé de huit étoiles, dont quatre en trapèze, et trois en arc traversé par une flèche. Il est voisin de l'horizon de Paris.

Le *Capricorne* a la *tête* formée de deux étoiles tertiaires très-voisines, et la *queue* de trois petites étoiles. Cette constellation est ainsi nommée parce que le soleil, lorsqu'il s'y trouve, commence à remonter vers le nord.

Le *Verseau* présente un triangle d'une petite hauteur; plusieurs étoiles forment l'urne d'où l'eau découle sous forme d'une ligne sinueuse de petites étoiles. A l'origine des signes, le soleil se trouvant dans cette constellation annonçait le débordement du Nil.

Les *Poissons* offrent deux séries de petites étoiles représentant les cordons qui les attachent et se réunissent au nœud formé d'une étoile tertiaire. Le débordement du Nil, alors complet, permet aux poissons de parcourir la surface de l'Égypte, pays auquel se rapportent également les autres constellations zodiacales.

21. La plus importante des constellations boréales (planche IV) est la *Grande Ourse* ou le *Chariot* qui sert à s'orienter sur le ciel et à déterminer les autres. Elle est composée de six belles étoiles secondaires et d'une tertiaire, dont quatre en trapèze représentant le *Chariot*, et les trois autres la *Flèche* ou la *Queue* de l'Ourse, qui passe par le zénith de Paris. La *Petite Ourse* ou le *Petit Chariot* offre aussi sept étoiles disposées de même ; la *Queue* est terminée par l'étoile polaire, belle secondaire située à 1° 39′ du pôle.

Les plus remarquables des autres constellations boréales sont : *Cassiopée* ou le *Trône* offrant cinq étoiles tertiaires en forme d'y à queue coudée, le *Dragon* dont la queue sinueuse sépare les deux Ourses, *Pégase* ou la *Grande Croix* formant un trapèze presque carré, marqué par quatre étoiles secondaires, le *Bouvier* offrant cinq étoiles disposées en pentagone et une très-belle primaire nommée *Arcturus*, la *Couronne Boréale* formée de six à sept étoiles rapprochées en arc demi-circulaire dont le milieu est occupé par une secondaire, la *Lyre* aussi formée de six à sept étoiles dont une très-belle primaire nommée *Wéga*.

22. Les plus belles de toutes les constellations sont les deux australes nommées *Orion* et le *Grand Chien*, chacune composée de sept étoiles brillantes. Orion offre un grand trapèze presque également partagé par l'équateur; deux belles primaires *Adahem* et *Rigel*, et deux secondaires en marquent les quatre angles; vers le milieu sont

situées trois autres secondaires très-rapprochées dites le *Baudrier*, la *Ceinture*, les *Trois Rois* ou le *Bâton de Jacob.*

Le *Grand Chien*, formant un grand quadrilatère et un triangle, contient *Sirius*, la plus belle étoile du ciel, et six secondaires. Enfin le *Petit Chien* offre une belle primaire nommée *Procyon* au nord de *Sirius.*

Pour plus de détails sur les constellations et sur la méthode des alignements servant à reconnaître les étoiles dans le ciel, voyez notre Complément du Cours de Cosmographie, n°s 27 à 32. Nous renvoyons également aux n°s 34 et 35 du même ouvrage pour l'invention du zodiaque en général et en particulier des zodiaques égyptiens de Dendérah et d'Esné, qui, bien loin d'avoir l'antiquité qu'on leur attribuait, ne remontent qu'aux règnes de Néron et de Trajan.

23. Les anciens connaissaient 48 constellations, dont 21 boréales, 12 zodiacales, et 15 australes, comprenant en tout 1022 étoiles. De nos jours on en connait 108 formées de 25,000 étoiles. Cette grande augmentation est due à l'invention des instruments d'optique. Hévélius ajouta douze constellations aux 48 d'Hipparque, Halley huit, Boyer douze, Lacaille seize, enfin les astronomes modernes les douze dernières.

24. Nous avons vu comment on pouvait déterminer exactement la position des étoiles au moyen de leur déclinaison et de leur ascension droite. Les rapportant d'après ces coordonnées sur une sphère matérielle, ordinairement en bois ou en carton, à partir d'un certain point de l'équateur, pris pour origine, et dessinant les figures des constellations qui les comprennent, on obtient ce qu'on appelle un *globe céleste* offrant ainsi une représentation exacte du ciel. On peut construire le globe céleste, en y rapportant les étoiles déterminées deux à deux par leurs

distances angulaires observées avec un instrument composé de deux lunettes. A cet effet, on choisit deux étoiles pour base de l'opération, et on les lie successivement à toutes les autres par une chaîne de triangles, comme cela se pratique pour les objets terrestres dans le lever des plans.

On supplée au globe céleste par deux planisphères offrant la projection des deux hémisphères austral et boréal (planche IV), mais les configurations des constellations sont sensiblement altérées.

Enfin, comme il est impossible d'avoir un globe ou des cartes de dimensions assez grandes pour qu'on puisse y marquer un nombre considérable d'étoiles, les astronomes ont dressé des catalogues ou listes contenant toutes les étoiles connues avec leur ascension droite et leur déclinaison. C'est à Hipparque qu'on doit le premier catalogue qui ait été fait ; ses observations cadrent parfaitement avec celles faites de nos jours, d'où il résulte que la position relative des étoiles n'a pas varié depuis deux mille ans. De là vient le nom d'étoiles fixes qu'on leur a donné.

V. — *Parallaxes.* — *Réfractions astronomiques.*

25. On appelle en général *parallaxe* d'un objet l'angle formé par les rayons visuels dirigés des extrémités d'une base sur cet objet, ou, ce qui est la même chose, l'angle sous lequel l'œil transporté à l'objet verrait la longueur de la base. Cette parallaxe se détermine par l'un des procédés indiqués en Géométrie, pour trouver la distance d'un objet inaccessible (voyez ma Trigonométrie, sect. 2, prop. 12). Mais les astronomes, qui sont dans l'usage de rapporter toutes leurs observations au centre de la terre, afin de les rendre comparables entre elles, quoique étant faites de différents points de sa surface, appellent spécia-

lement *parallaxe*, cette réduction au centre, c'est-à-dire la différence de position d'un astre vu d'un point de la surface ou du centre de la terre, ou, ce qui revient au même, l'angle sous lequel on verrait, de l'astre, le rayon mené du centre de la terre au point de sa surface. La parallaxe d'un astre varie non-seulement avec la distance de l'astre, mais encore avec l'obliquité du rayon terrestre par rapport à l'astre. Le *lieu apparent* d'un astre est celui où on l'aperçoit du point qu'on occupe sur le globe; le *lieu vrai* est le lieu où l'on suppose qu'on verrait l'astre, si l'on était placé au centre de la terre. L'effet de la parallaxe, qu'on appelle *effet parallactique*, est donc de déplacer l'astre, ou de le faire voir dans un lieu où il n'est pas réellement; plus l'astre sera éloigné, moins cet effet sera sensible; il est nul pour les étoiles.

26. Nous venons de dire que les observations faites il y a 2000 ans à Alexandrie, par Hipparque, cadraient parfaitement avec celles qui ont été faites récemment dans plusieurs villes d'Europe, et qui, dans l'état actuel de la science, ne sont encore exactes qu'à une seconde près, malgré tous les perfectionnements apportés aux instruments. Or, l'angle sous-tendu par un objet se réduit à la moitié, au tiers, etc., selon qu'on transporte l'objet à une distance double, triple, etc. Par conséquent si l'on observe à Alexandrie deux étoiles méridionales distantes de 4000″ ou un peu plus qu'un degré, et qu'on s'éloigne d'Alexandrie en marchant vers le nord, l'angle sous-tendu par ces étoiles diminuera à mesure qu'on s'éloignera, et lorsque la distance dont on se sera éloigné d'Alexandrie sera la 4000e partie de la distance des étoiles à la terre, l'angle sous-tendu aura dû diminuer de $\frac{1}{4000}$ ou 1″, et devenir par conséquent 3999″. Mais si l'on s'est éloigné à 500 myriamètres d'Alexandrie, ce qui suppose 2 000 000 myriamètres pour la distance des étoiles, on

trouve que les deux mêmes étoiles sous-tendent exactement le même angle de 4000″, d'où il résulte que ces étoiles sont éloignées de nous à plus de 2 000 000 myriamètres; car autrement nous aurions pu apprécier la différence de 1″ que le changement du lieu d'observation devait nécessairement apporter à la distance angulaire des deux étoiles. Sur la terre il est difficile de se procurer une base d'observations beaucoup plus grande, mais on démontrera plus tard (181) que la terre se déplace réellement dans l'espace, et que, par suite de ce mouvement, elle occupe à six mois d'intervalle deux points distants entre eux de 30 millions de myriamètres, diamètre de l'orbite terrestre (67), en nombre rond. On peut donc, au lieu d'une base de 500 myriamètres, en prendre une de 30 millions de myriamètres : or, en répétant, aux deux extrémités de cette base, avec les meilleurs instruments connus et les soins les plus minutieux, les mêmes observations sur les deux étoiles dont la distance angulaire est de 4000′, on trouve aux deux stations exactement 4000″ de distance angulaire. Donc les étoiles sont à une distance de la terre plus grande que 30 millions de myriamètres multipliés par 4000, c'est à-dire 120000 millions de myriamètres.

27. Mais si l'on applique aux étoiles la méthode des parallaxes, et qu'on prenne la *parallaxe annuelle* ou relative au diamètre de l'orbite terrestre, ce que la perfection actuelle des instruments permet de faire, on trouve que ce diamètre, égal à 30 millions de myriamètres, étant vu des étoiles les plus voisines, ne sous-tend pas même un angle 1″. Or on a trouvé par des expériences très-précises, faites avec l'instrument appelé *micromètre à double image* (65), qu'un objet, pour sous-tendre un angle de 1″, doit être à une distance égale à 206 000 fois ses dimensions. Multipliant par ce nombre le diamètre

de l'orbite terrestre ou 30 millions de myriamètres, on trouve que l'étoile la plus voisine de la terre en est encore plus éloignée que 6 trillions 180 billions de myriamètres, espace immense dont on ne peut guère se faire idée qu'à l'aide de la vitesse de la lumière. Cette vitesse étant de 30000 myriamètres par seconde (144), si on divise par ce nombre la distance qu'on vient de trouver, on a 206000000″ pour le temps que la lumière met à venir de l'étoile. Divisant ce temps par 86000″ nombre de secondes contenues dans un jour, on a pour quotient 2395 jours ou environ 6 ans $\frac{1}{2}$. Ainsi les étoiles les plus voisines de la terre mettent plus de 6 ans $\frac{1}{2}$ à nous envoyer leur lumière. Mais de combien cette durée est-elle plus grande ? Nous l'ignorons.

C'est à cause de ce grand éloignement des étoiles que les dimensions de la terre sont comme nulles par rapport à elles, et que le mouvement diurne s'exécute autour d'une droite menée de l'œil au pôle, quel que soit le point de la surface terrestre où l'on fasse l'observation. Ainsi, quel que soit le point que nous occupions sur la surface de la terre, l'axe du monde paraît passer par ce point.

28. Nous avons vu qu'on déterminait la position des étoiles, soit par leurs distances angulaires, soit par leurs déclinaisons et ascensions droites. Dans tous les cas, les résultats immédiatement donnés par l'observation sont altérés par plusieurs causes, dont la principale est la *réfraction atmosphérique,* appelée improprement *réfraction astronomique* pour la distinguer de la *réfraction terrestre* qu'éprouvent les corps situés dans l'atmosphère. On nomme *atmosphère* la masse d'air qui environne la terre, et que l'on conçoit composée de couches successives diminuant de densité à mesure qu'elles sont plus élevées au-dessus du niveau de la mer. L'atmosphère a environ 16 à 17 lieues de hauteur. Un rayon lumineux parti

d'une étoile ne poursuit pas sa route en ligne droite dans l'atmosphère, mais s'infléchit de plus en plus à mesure qu'il rencontre des couches plus denses, de manière à former une courbe concave vers la terre, tangente à la direction primitive du rayon, et contenue dans son plan vertical. L'effet de la réfraction est donc de faire paraître les astres plus élevés dans le ciel qu'ils ne le sont réellement. L'angle de réfraction est l'angle formé par les rayons visuels menés de l'observateur à l'étoile dans sa position apparente et dans sa position réelle. On apprécie les effets de la réfraction en faisant passer un rayon lumineux du récipient d'une machine pneumatique dans l'air; mais comme on ne peut obtenir de vide parfait, l'appréciation est très-grossière, et l'on ne peut parvenir à un résultat à peu près exact que par des considérations de la plus haute analyse. Au reste, on a calculé avec le plus grand soin des tables de réfractions qui accompagnent toujours les autres tables astronomiques. Il est clair que la valeur de la réfraction doit être retranchée de celle des angles fournis par l'observation, pour replacer les étoiles dans la position qu'elles occupent réellement.

29. Il n'y a pas de réfraction au zénith, et un astre, situé sur la verticale d'un lieu, y est vu dans sa position réelle. La réfraction augmente graduellement du zénith à l'horizon; mais cet accroissement est d'abord très-faible, et même pour un astre situé à égale distance de l'horizon et du zénith, la valeur de la réfraction égale à peine 1″, tandis qu'à l'horizon, cette valeur est au moins de 33′. C'est pourquoi l'effet de la réfraction est de déformer les objets très-éloignés que nous voyons près de l'horizon. Par exemple, le soleil à son lever ou à son coucher paraît ovale ou aplati dans le sens vertical, parce que la réfraction soulève également les deux extré-

mités du diamètre horizontal qui ne change donc pas de grandeur apparente, mais soulève davantage l'extrémité inférieure du diamètre vertical que l'extrémité supérieure, et par conséquent en diminue la longueur, d'où il résulte que le disque du soleil paraît ovale.

On peut aisément se faire idée de la réfraction par l'expérience suivante. On place une lumière auprès d'un vase vide, on choisit un point P du bord, et on marque au fond du vase l'ombre O de ce point. La lumière et les points P, O sont en ligne droite. En versant de l'eau dans le vase, l'ombre se raccourcit, de sorte que le point O se trouve alors éclairé. Ainsi le rayon lumineux s'est brisé et rapproché de la perpendiculaire à la surface de l'eau ; c'est en cela que consiste la réfraction que le rayon a éprouvée en passant de l'air dans l'eau.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA TERRE.

VI. — *Figure de la terre. — Preuve de sa rondeur.*

30. La détermination de la figure de la terre paraît difficile au premier coup d'œil, pour ne pas dire impossible. Comment en effet parvenir à reconnaître la vraie figure de la terre qui présente une surface aussi parsemée de vallées, forêts, collines et montagnes. Un enfant, jetant les yeux sur la lune, dit qu'elle est ronde et même circulaire; or, elle a des montagnes bien plus hautes que celles de la terre. Voyons s'il est possible, au moyen d'observations directes, de se former une idée de la figure de la terre, et pour éviter la difficulté que présentent les aspérités qui défigurent la portion habitable de sa surface, examinons d'abord la mer.

31. Supposons un observateur placé sur le rivage, et suivant de l'œil un vaisseau qui, venant de mettre à la voile, s'éloigne directement; à mesure que la distance du vaisseau s'accroît, ses dimensions paraissent diminuer; on l'aperçoit néanmoins en totalité jusqu'à ce qu'il atteigne l'extrémité de l'horizon sensible. Mais dès qu'il l'a dépassé, la portion visible du vaisseau décroît, et son corps proprement dit, semblant s'enfoncer dans l'eau, aura totalement disparu lorsqu'il sera situé au-dessous du rayon visuel tangent à l'extrémité de l'horizon. A ce

point, l'observateur verra encore les mâts du vaisseau, et s'il monte sur un édifice situé au même endroit du rivage, il découvrira de nouveau le corps du vaisseau, qu'il perd à l'instant de vue, s'il redescend au pied de l'édifice. Le vaisseau continuant à s'éloigner, l'observateur voit successivement disparaître les basses voiles, celles du milieu, enfin les dernières portions des voiles supérieures, qu'il aperçoit nettement jusqu'à l'instant de leur disparition totale. Il résulte de là que ce n'est point par suite d'un affaiblissement de la vision causé par l'augmentation de distance, qu'il cesse d'apercevoir successivement les diverses parties du vaisseau, mais par l'interposition d'un segment de la mer. Par conséquent, la surface de la mer est arrondie ; car si elle était plane, on cesserait d'apercevoir les mâts avant le corps du vaisseau qui a des dimensions bien plus considérables. De même le navigateur, en retournant au port, découvre d'abord les flèches des clochers les plus élevés ; et ce n'est qu'en approchant de la terre, qu'il découvre successivement les parties inférieures des édifices que lui dérobait la convexité de la mer. Ainsi, sans aucun doute, sa surface est arrondie.

Or la figure de la terre habitable diffère peu de celle de la mer, et n'en est, pour ainsi dire, qu'une continuation, car les continents sont entourés de tous côtés par la mer qui s'y insinue par un grand nombre d'ouvertures. D'ailleurs on n'observe pas que leurs bords soient quelque part fort élevés au-dessus du niveau des eaux qui les baignent et les corrodent sans cesse. Il est donc nécessaire que leur ensemble suive à peu près la convexité de l'Océan.

Cela devient encore plus évident si l'on considère le cours des fleuves, tels que le Danube, le Nil, l'Amazone, etc., qui parcourent des étendues de pays considérables.

L'Amazone seule a un cours de 500 myriamètres, et reçoit plusieurs rivières qui en ont un de 300 myriamètres. Tous ces fleuves, qui se rendent à la mer, n'offrent nulle part des bords très-élevés ; tous sont navigables, et sont réduits à un mouvement très-lent lorsqu'ils approchent de leur embouchure. Ces fleuves, recevant d'autres rivières descendant des hautes montagnes, forment le lien qui les unit aux rivages. Donc les continents suivent à très-peu près la courbure des mers ; et par conséquent la terre offre en général une figure arrondie, comme le prouve d'ailleurs l'ombre circulaire portée par la terre sur la lune dans les éclipses.

32. Un autre fait dont nous sommes témoins chaque jour vient encore à l'appui de cette opinion. Les diverses parties de la surface terrestre ne reçoivent que successivement la lumière du soleil : lorsqu'il se lève, il commence par dorer le sommet des montagnes, et n'éclaire leur pied qu'un certain temps après. De même lorsqu'il se couche, les édifices élevés et le sommet des montagnes sont les derniers à recevoir les rayons solaires. Tous ces faits établissent incontestablement la rondeur de la terre, dont la forme n'est pas sensiblement altérée par les inégalités qui se trouvent à sa surface ; c'est ainsi qu'une orange est regardée comme ronde malgré les rugosités de sa peau.

VII. — *Axe et pôles de la terre, équateur, méridiens, parallèles.*

33. D'après ce qui précède, la terre ne nous est encore connue que comme un globe immobile et isolé dans l'espace, autour duquel s'opère le mouvement diurne qui transporte les étoiles d'orient en occident, et occupant ainsi le centre de la sphère céleste, ou plutôt étant concentrique avec elle. Or, nous avons vu (27) que l'axe du

monde paraissait toujours passer par le point que nous occupions sur la surface de la terre. Nous appellerons *axes sensibles* tous ces axes passant par les centres des horizons sensibles, et *axe rationnel*, ou particulièrement axe du monde, celui qui passe par le centre de la terre, centre commun de tous les horizons rationnels. L'axe du monde passe donc par le centre de la terre, et la portion de cet axe, qu'elle intercepte, peut être considérée comme l'*axe* de la terre elle-même *. Les deux *pôles* de la terre sont les points où cet axe rencontre sa surface. Le *pôle nord*, ou *boréal*, ou *arctique*, est le plus voisin de l'Europe, le *pôle sud*, ou *austral*, ou *antarctique*, en est le plus éloigné.

34. L'*équateur terrestre* est un grand cercle de la surface de la terre, dont tous les points sont à égale distance des pôles, et qui la divise en deux hémisphères égaux, l'un *boréal*, l'autre *austral*, ayant respectivement pour centres les pôles nord et sud. L'équateur est donc compris dans un plan passant par le centre de la terre, et perpendiculaire à son axe. Par conséquent, l'équateur terrestre et l'équateur céleste, passant par le centre de la terre, sont situés dans un même plan, et forment deux circonférences concentriques. Ainsi, l'équateur terrestre peut encore se définir l'intersection de la surface de la terre par le plan de l'équateur céleste, lequel passe par son centre.

* Cette définition de l'axe terrestre est loin d'être aussi bonne que celle qui résulte du mouvement de rotation de la terre; mais nous étant attachés à suivre pas à pas le programme de l'Université, qui rejette à la fin du cours les mouvements réels de la terre, nous ne pouvons employer ici la définition fondée sur sa rotation. Le même motif nous a dirigés dans un certain nombre de cas analogues, et nous nous bornons à l'énoncer ici une fois pour toutes, renvoyant au surplus à notre traité d'Astronomie, où les phénomènes célestes sont présentés dans un ordre tout différent.

Les dimensions de la terre étant comme nulles par rapport au ciel étoilé, un plan mené par un point quelconque de la terre, perpendiculairement à l'axe du monde ou parallèlement à l'équateur terrestre, donne, étant prolongé jusqu'à la région des étoiles, un équateur céleste; ou plutôt, par rapport aux étoiles, tous ces équateurs se confondent en un seul. Voilà pourquoi l'on prend pour *équateur céleste* le plan perpendiculaire à l'axe du monde, et passant par le centre de la terre, c'est-à-dire le prolongement du plan de l'équateur terrestre.

35. Le *méridien terrestre* d'un point situé à la surface de la terre est un grand cercle passant par les deux pôles et par ce point. Tous les méridiens, passant par la ligne des pôles ou l'axe de la terre, sont donc perpendiculaires à l'équateur. A chaque méridien terrestre correspond un méridien céleste situé dans le même plan, de sorte que tout plan vertical passant par les pôles coupe la surface de la terre suivant un méridien terrestre, et la sphère du ciel suivant un méridien céleste. La ligne méridienne d'un lieu est, comme nous l'avons déjà vu, l'intersection de l'horizon sensible de ce lieu avec le plan du méridien terrestre ou céleste correspondant.

Les *parallèles terrestres* sont de petits cercles de la surface de la terre parallèles à l'équateur, et sont par conséquent les intersections de cette surface par des plans parallèles au plan équatorial; les mêmes plans, prolongés jusqu'à la sphère du ciel, ne la coupent pas suivant les parallèles célestes correspondants, c'est-à-dire situés à une même distance angulaire de l'équateur, mais suivant d'autres parallèles célestes plus rapprochés de l'équateur. Pour avoir le parallèle céleste correspondant à un parallèle terrestre, il faut concevoir que la droite joignant l'un de ses points au centre de la terre, supposée sphérique, soit prolongée jusqu'à la région des étoiles, et

participe à leur mouvement diurne, en tournant autour du centre de la terre, c'est-à-dire décrive une surface conique dont le sommet et l'axe soient le centre de la terre et l'axe du monde. Dans ce mouvement, le point de la génératrice situé à la surface de la terre décrit le parallèle terrestre, et son extrémité décrit le parallèle céleste.

36. On voit qu'il existe une correspondance si parfaite entre les cercles du globe terrestre et ceux de la sphère céleste, qu'ils peuvent se déterminer l'un par l'autre au moyen des intersections respectives des deux surfaces par les mêmes plans pour les méridiens, et par les mêmes surfaces coniques pour les parallèles. Aussi sont-ils dénommés de même dans les deux cas. Cette correspondance est une suite de la considération de la terre comme un globe concentrique à la sphère du ciel.

VIII. — *Longitudes et latitudes terrestres. — Cartes géographiques.*

37. On nomme en général *longitude terrestre* l'angle sphérique formé par deux méridiens terrestres, lequel se mesure par l'arc qu'ils interceptent sur l'équateur. Ces longitudes se comptent sur l'équateur à partir d'un certain point pris pour origine ou pour point de départ, absolument de la même manière que les ascensions droites qui, avec les déclinaisons déterminant la position des étoiles, se comptent sur l'équateur céleste à partir d'un point pris pour origine (24). Aucun phénomène naturel n'indiquant de choisir un méridien plutôt qu'un autre pour y rapporter les divers méridiens terrestres, le méridien du point de départ, nommé *premier méridien*, est entièrement arbitraire, et chaque peuple est maintenant dans l'usage de le faire passer par l'observatoire de sa capitale. Dans ces derniers temps on avait adopté pour premier méridien celui de l'île de Fer, la plus occidentale

des Canaries, comme on le voit encore sur un grand nombre de cartes ; mais actuellement nous l'avons remplacé par celui l'observatoire de Paris qui en est à 20° à l'est. Les Anglais prennent pour premier méridien celui de l'observatoire de Greenwich situé à 2° 20′ 22″ à l'ouest de celui de Paris. Quoi qu'il en soit, la longitude d'un lieu est l'arc de l'équateur compris entre le méridien de ce lieu et le premier méridien. Elle se compte en degrés, minutes et secondes, de 0° à 360° en allant à l'est, l'équateur ayant été divisé dans ce sens en 360° à partir du premier méridien. Quelques géographes comptent 180° à l'est et 180° à l'ouest à partir du premier méridien ; mais il est plus commode, plus régulier, et par conséquent préférable de compter invariablement les degrés de longitude dans un même sens de 0° à 360°. La différence de longitude de deux lieux terrestres s'obtient en retranchant l'un de l'autre les arcs qui expriment leurs longitudes, si on les compte dans le même sens, ou en les ajoutant l'une à l'autre, lorsqu'elles sont comptées dans des sens différents.

On nomme *latitude terrestre* d'un lieu sa distance à l'équateur, mesurée sur le méridien de ce lieu ; c'est donc la portion de ce méridien comprise entre le lieu même et l'équateur. Elle se compte en degrés, minutes et secondes de 0° à 90° en allant de l'équateur au pôle de l'hémisphère où ce lieu est situé. Il est clair que tous les points d'un même parallèle ont même latitude, et la différence de latitude de deux lieux s'obtient, selon qu'ils sont situés sur le même hémisphère, ou dans des hémisphères différents, en retranchant l'un de l'autre, ou en ajoutant l'un à l'autre, les arcs exprimant leurs latitudes.

38. La position d'un lieu est déterminée dès que l'on connaît sa longitude et sa latitude ; car sachant, par exemple, qu'un lieu a 20° 30′ 25″ de longitude, et 50°

20′ 40″ de latitude nord, il en résulte que ce lieu est à la fois situé sur le méridien qui coupe l'équateur à 20° 30′ 25″ du méridien choisi pour origine, et sur le parallèle de l'hémisphère boréal situé à 30° 20′ 40″ de l'équateur; il est donc à leur point d'intersection. C'est absolument de la même manière que nous avons déterminé la position des étoiles par leurs déclinaisons et leurs ascensions droites, qui sont, sur la sphère céleste, exactement les analogues des longitudes et des latitudes terrestres. On pourra donc, d'après les mêmes principes, construire un globe artificiel représentant les configurations de la surface de la terre, de même que l'on a construit un globe céleste offrant les positions respectives des étoiles (24).

39. La latitude d'un lieu, étant, comme on l'a vu (10), égale à la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon, se détermine aisément au moyen du quart de cercle, d'après le procédé indiqué.

La détermination de la longitude offre bien plus de difficulté, et repose sur la mesure du temps. Tous les points situés sur le même méridien ont la même heure au même instant physique. Connaissant l'angle formé par deux plans méridiens, on en déduit la différence des heures comptées au même instant sur chacun d'eux, et réciproquement la différence des heures donne celle des longitudes. Par conséquent, pour avoir la différence de longitude des deux stations, il faut déterminer exactement l'heure pour la station où l'on est, et pour celle où l'on n'est pas. On n'emploie pas les heures du jour solaire qui est variable, mais du jour sidéral qui est constant; ainsi chaque observateur règle sa pendule de manière qu'elle marque 0h. 0′ 0″ au moment où une certaine étoile, bien connue de position, passe au méridien de la station où il se trouve. L'un d'eux venant ensuite à

transporter sa pendule à la station de l'autre, il est clair que les deux pendules différeront dans leur indication; et la différence des heures marquées donnera, en heures, minutes et secondes sidérales, la différence des longitudes. Comme une pendule ne peut être transportée sans qu'elle ne se dérange, l'observateur ne s'en sert que pour régler un bon *chronomètre* ou montre marine, qui, pouvant se transporter sans inconvénient d'un station à l'autre, indique la différence de longitude. Deux bons chronomètres, qui se servent mutuellement de vérification, sont ce qu'il y a de mieux pour cette opération. Si un observateur part d'un certain lieu avec un chronomètre bien réglé (ou mieux deux chronomètres) et se dirige vers l'ouest, en notant l'heure du passage de la même étoile au méridien de tous les points où il s'arrêtera, sans toucher au chronomètre, il en déduira les différences de longitude de toutes ses stations : s'il continue sa route toujours vers l'ouest, en tournant autour du globe de manière à revenir au point de départ, il aura perdu un jour, et comptera, par exemple, lundi à son retour au lieu de mardi. Un observateur, au contraire, parti du même point et marchant constamment vers l'est, gagne un jour, et à son retour compte lundi au lieu de dimanche; d'où la semaine des trois lundis. Le premier a fait un tour de plus, et le second un tour de moins qu'une personne restée au point de départ.

40. Au lieu de régler les pendules ou chronomètres de manière à marquer $0^{h.}\ 0'\ 0''$ au moment du passage d'une certaine étoile au méridien, on rend les observations immédiatement comparables entre elles sur toute la terre, en les réglant au moment où le point fictif du ciel, qu'on nomme *équinoxe*, passe au méridien. Pour cela il suffit de choisir une étoile brillante dont la position par rapport au point équinoxial soit bien déterminée, ce qui

fait connaître l'instant précis où ce point doit passer lui-même au méridien, par exemple 30′ après l'étoile. Alors on règle la pendule de manière qu'elle marque 30′ de moins que $0^{h.}\ 0'\ 0''$ lors du passage de l'étoile ; par conséquent, lorsque le point équinoxial passera au méridien, la pendule marquera $0^{h.}\ 0'\ 0''$. La date d'un événement quelconque étant ainsi donnée en temps équinoxial, il n'est pas nécessaire d'ajouter le nom du lieu où s'est passé l'événement, comme cela est indispensable si l'on dit que l'événement est arrivé à telle heure de temps sidéral ou de temps moyen ; ce qui n'apprend réellement rien, si l'on n'ajoute le nom de la station à laquelle ce temps est rapporté. Le seul moyen de s'entendre avec les établissements lointains, comme les colonies, est de compter par temps équinoxial.

41. Comme on ne peut encore se fier à la marche du chronomètre, malgré tous les perfectionnements qu'il a reçus de nos jours, on préfère, pour des stations distantes de 6 à 12 myriamètres au plus, selon la nature du pays, employer des signaux télégraphiques, comme l'explosion d'une fusée, qui est un signal bien net et d'ailleurs instantané pour les deux stations. Chaque observateur note, d'après une pendule bien réglée, l'instant où il aperçoit le signal ; et la différence des temps fait connaître la différence de longitude des deux stations.

Ce procédé peut s'étendre à deux points situés à une distance quelconque, au moyen d'une chaîne de stations intermédiaires alternativement occupées par des signaux et par des observateurs. On a soin, pour plus d'exactitude, de faire successivement les signaux à quelques minutes d'intervalle seulement, chaque observateur notant alternativement les signaux qui se font derrière lui et en avant de lui. On obtient ainsi la différence de temps entre la 1re et la 2e station, puis entre la 1re et la 3e,

ainsi de suite, d'où l'on conclut la différence de temps et par conséquent de longitude entre les stations extrêmes. Nous donnons plus loin le moyen de déterminer la différence des longitudes dans une vaste étendue, en prenant pour signaux les occultations des étoiles par la lune (123), ou les éclipses des satellites de Jupiter (145).

42. Connaissant les longitudes et les latitudes des divers points de la terre, on pourra, comme nous l'avons dit, les rapporter sur un globe matériel, en bois ou en carton, où l'on aura tracé d'avance les cercles représentant l'équateur, les méridiens et les parallèles, de distance en distance, par exemple de 10° en 10°. Ces sortes de globes feront connaître, sans les altérer, les configurations et les grandeurs respectives des diverses parties de la terre et de leurs subdivisions. Mais comme ils ne sont pas portatifs, et ont d'ailleurs des dimensions très-bornées, relativement à la multitude d'objets qu'on doit y marquer, ce qui entraîne confusion, on y supplée par des cartes représentant des régions limitées. Les cartes ne peuvent jamais être aussi exactes que les globes, parce qu'une portion de surface sphérique n'est pas susceptible de s'étendre ou de se projeter rigoureusement sur un plan; d'où il résulte qu'une carte ne peut représenter une étendue quelconque de pays, sans que certaines parties ne soient élargies ou resserrées par rapport aux autres. On a donc imaginé trois diverses espèces de projections, qu'on emploie selon le but particulier qu'on se propose, et qui se réduisent à trois principales appelées *stéréographique, orthographique*, et *par développement.*

43. 1° La *projection stéréographique*, qui est à proprement parler une projection perspective, ne s'emploie guère que pour les cartes appelées *mappemondes*, formées de deux cercles accolés l'un à l'autre, où sont représentés les deux hémisphères résultant de l'intersec-

tion de la sphère par un plan diamétral. L'œil est supposé placé sur la surface de la terre à l'extrémité du diamètre perpendiculaire au plan coupant ou *plan de projection.* La propriété fondamentale des projections stéréographiques est que tous les cercles de la sphère sont représentés en projection par des cercles *. Le plan de projection, qui passe par le centre de la terre, est, du reste, tout à fait arbitraire. On peut choisir l'équateur, ou un plan méridien, ou l'horizon rationnel d'une ville quelconque. La projection sur l'équateur a l'inconvénient de donner sur l'une des cartes une portion de l'Afrique et de l'Amérique, et l'autre portion sur l'autre carte.

* Voici la démonstration analytique de cette proposition. Soit (fig. 6) l'œil supposé en O, Z A le plan de projection, et $b\,c$ un cercle base d'un cône oblique dont le sommet est O, l'intersection de ce cône par le plan Z A sera un cercle. Car le cercle $b\,c$ a pour équations $\begin{cases} x^2+y^2+z^2=r^2 \\ z+\mathrm{A}x+\mathrm{B}y=\mathrm{C} \end{cases}$; la génératrice O b a pour équations, $\begin{matrix} x=m\,z-r \\ y=n\,z \end{matrix}$; substituant ces valeurs de x et de y dans l'équation du plan, on a

$$z+\mathrm{A}\,m\,z+\mathrm{B}\,n\,z-\mathrm{A}\,r=\mathrm{C},$$

d'où $z=\dfrac{\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r}{1+\mathrm{A}\,m+\mathrm{B}\,n}$; cette valeur de z donne pour x et y

$x=\dfrac{m(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)}{1+\mathrm{A}\,m+\mathrm{B}\,n}-r$, $y=\dfrac{n\,(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)}{1+\mathrm{A}\,m+\mathrm{B}\,n}$; substituant ces valeurs dans la première équation du cercle, il vient

$$\frac{(n^2+m^2)\,(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)^2}{(1+\mathrm{A}\,m+\mathrm{B}\,n)^2}-\frac{2\,m\,r\,(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)}{1+\mathrm{A}\,m+\mathrm{B}\,n}+\frac{(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)^2}{(1+\mathrm{A}m+\mathrm{B}n)^2}=0,$$

d'où $(m^2+n^2+1)\,(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)^2-2\,m\,r\,(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)\,(1+\mathrm{A}\,m+\mathrm{B}\,n)=0.$

Substituant à m et n leurs valeurs, on a pour l'équation du cône

$$\left(\frac{(x+r)^2+y^2+z^2}{z^2}\right)(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)-\frac{2\,r\,(x+r)\,(z+\mathrm{A}\,(x+r)+\mathrm{B}y)}{z^2}=0$$

ou $\left((x+r)^2+y^2+z^2\right)\,(\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r)\ -\ 2\,r\,(x+r)\left(z+\mathrm{A}\,(x+r)+\mathrm{B}y\right)\ =\ 0$; pour trouver l'équation de la courbe d'intersection du cône par le plan A Z, il suffit de faire $x=o$, ce qui donne,

$$(r^2+y^2+z^2)\,(c+\mathrm{A}\,r)-2\,r^2\,(z+\mathrm{A}\,r+\mathrm{B}\,y)=0\ ,$$

d'où $y^2+z^2-\dfrac{2\,r\,\mathrm{B}}{\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r}\cdot y-\dfrac{2\,r}{\mathrm{C}+\mathrm{A}\,r}\cdot z=\dfrac{r^2(\mathrm{A}\,r-\mathrm{C})}{\mathrm{A}\,r+\mathrm{C}}$, qui est l'équation d'un cercle.

Voici une démonstration plus simple :

Soit toujours ZY le plan sur lequel on veut projeter l'hémisphère

La projection sur l'horizon rationnel d'une ville, comme Paris, offre le même inconvénient, mais à un plus haut degré. Nous nous bornons dans cet ouvrage à exposer la projection sur un plan méridien. L'explication est la même quel que soit le méridien qu'on choisisse pour plan de projection, c'est-à-dire, pour premier méridien, mais les mappemondes sont ordinairement construites sur le méridien de l'île de Fer qui, passant presque en entier sur la mer, permet de renfermer, ou à très-peu près, chaque continent dans un même cercle.

Soit EP*ep* (fig. 7) le cercle du premier méridien sur lequel on veut représenter l'hémisphère situé au-dessous de son plan, qui est le plan du papier. L'œil étant placé à l'extrémité supérieure du diamètre perpendiculaire à ce

ZXY, l'œil étant en O. Prenons un cône oblique O*bc*, dont l'axe soit contenu dans le plan OZX perpendiculaire au plan projetant, et dont par conséquent le plan de la base *bc* soit aussi perpendiculaire au plan OZX. Le plan projetant ZY coupe le cône suivant une courbe *mn*; il s'agit de faire voir que cette courbe est un cercle.

D'abord on a l'angle $Ocb = Omn$, car le 1[er] a pour mesure $\frac{1}{2}$ OZ $+ \frac{1}{2}$ Z*b* $= 45° + \frac{1}{2}$ Z*b*, et le 2[e] a pour mesure $\frac{1}{2}$ OY $+ \frac{1}{2}$ Z*b* $= 45° + \frac{1}{2}$ Z*b*. De même l'angle $Obc = Omn$. Maintenant par un point quelconque de la section *mn* menons un plan *b'c'* parallèle à la base *bc*; ce plan coupera le cône suivant le cercle *b'c'*, et l'on aura l'angle $Ob'c' = Obc = Omn$, et l'angle $Oc'b' = Ocb = Omn$. De plus l'intersection des plans *mn*, *b'c'* sera perpendiculaire au plan OZX et par conséquent à ses intersections *mn*, *b'c'* avec les mêmes plans, puisqu'elles passent par son pied dans ce plan. Pour faire voir cette intersection qui se projette en *a*, rabattons le plan des sections *mn* et *b'c'* sur le plan OZX en *men* et *b'ec'*, leur intersection viendra en *ae*. Cela posé, le demi cercle *b'ec* donne (Voyez notre Géométrie, sect. 3, prop. 5) la proportion $b'a : ae :: ae : ac'$. D'un autre côté les triangles *mab'*, *nac'*, semblables comme équiangles, donnent $b'a : an :: am : ac'$. Ces deux proportions ayant les mêmes extrêmes, on en conclut $ae^2 = an.am$, d'où il résulte que la section *men* est un cercle.

Les triangles O*bc*, O*mn*, semblables comme équiangles, servent à faire voir que les dimensions projetées conservent à peu près leur grandeur aux bords de la carte, mais diminuent de moitié au centre. Car on a $Ob : On :: mn : bc$. Donc, lorsque la section *mn* sera très-rapprochée du point Z ou du point Y, on aura sensiblement $mn = bc$, tandis qu'au centre A on aura $mn = \frac{1}{2} bc$.

plan, les rayons visuels, dirigés à tous les points de la surface concave de l'hémisphère inférieur, rencontrent le plan de projection en des points qu'il faut déterminer. Soit E*e* la trace de l'équateur sur ce plan, où sont situés les pôles P, *p*. Supposons qu'on veuille déterminer le cercle qui est la projection du méridien faisant un angle de 15° avec le premier méridien ; comme ce cercle doit passer par les pôles P, *p*, il reste à en trouver un troisième point, par exemple la projection du point d'intersection du méridien cherché avec l'équateur. Pour cela dirigeons un rayon visuel sur ce point d'intersection, et faisons tourner l'équateur autour de E*e* comme charnière, pour le rabattre sur le plan du premier méridien ; l'œil viendra en *p*, et le point d'intersection cherché viendra au point A situé à 15° du point E. Par conséquent, la droite menée par les points *p* et A sera le rabattement du rayon visuel dirigé au point d'intersection. Or cette droite *p* A rencontre la charnière E*e* en un point B qui reste fixe, lorsqu'on fait tourner l'équateur autour de E*e* pour le remettre dans sa position naturelle. Donc la projection cherchée est le point B, qui, avec les pôles P, *p*, détermine le cercle projection du méridien de 15°.

De même pour trouver le cercle projection du parallèle situé à 15° du pôle P, on marque sur le premier méridien, et à 15° de ce pôle, deux points D, *d*, qui appartiennent à la projection cherchée. Il reste encore à en déterminer un troisième point, par exemple, l'intersection du parallèle avec le méridien perpendiculaire au plan de projection. Pour cela faisons tourner ce méridien autour de P C comme charnière, pour le rabattre sur le plan de projection; l'œil viendra en *e*, le point d'intersection cherché viendra en D, et le rayon visuel qui aboutit à ce point se rabattra en *e* D. Cette droite *e* D coupe la charnière en un point F, qui, restant fixe lors-

qu'on fait tourner de nouveau le méridien perpendiculaire autour de PC pour le remettre dans sa position naturelle, est par conséquent la projection de l'intersection cherchée. Le cercle DF*d* est donc déterminé. Le parallèle cherché coupe le méridien perpendiculaire au premier en un second point situé au-dessus du plan du papier, et dont la projection *f* est donnée par l'intersection de la charnière P*p* avec le rabattement du rayon visuel dirigé sur ce point. C'est un quatrième point du cercle ; il peut servir de vérification. Dans la détermination du méridien PB*p* on trouve de même un quatrième point *b* en prenant l'arc *ea* égal à 15°, et menant la droite *pa* qui rencontre E*e* au point *b*. Dans cette projection tout est symétrique par rapport à P *p*, et aussi par rapport à E*e*; ainsi l'on n'a besoin de déterminer rigoureusement que la moitié des méridiens et la moitié des parallèles.

Les projections stéréographiques jouissent de l'importante propriété, que chaque petit triangle de la surface de la sphère a pour projection un triangle semblable; d'où il résulte qu'en général les configurations sur la carte sont semblables aux configurations du globe terrestre; mais les dimensions projetées conservent à peu près leur grandeur sur les bords de la carte, et de là diminuent progressivement en s'approchant vers le centre, où elles sont réduites à la moitié de leur grandeur. (Voir la fin de note de la page 37.)

Dans la mappemonde ainsi construite sur un méridien, l'équateur est représenté par deux diamètres situés dans le prolongement l'un de l'autre. Les planisphères célestes sont construits, non d'après la projection sur un méridien, ce qui aurait l'inconvénient de diviser les constellations, et d'altérer considérablement la configuration des étoiles circompolaires, mais d'après la projection sur l'équateur même; alors les méridiens équidistants se projet-

tent suivant des rayons faisant entre eux des angles égaux, et tous les parallèles suivant des circonférences concentriques. Le planisphère, planche IV, est construit d'après ce procédé.

44. 2° La *projection orthographique* (fig. 8) est celle où chaque point de l'hémisphère est projeté sur le plan diamétral par une perpendiculaire à ce plan. Elle se déduit de la précédente en supposant l'œil toujours situé sur une perpendiculaire au plan de projection, mais à une distance infinie. Par conséquent, si l'on prend pour plan de projection celui d'un méridien, les autres méridiens s'y projetteront en général suivant des courbes qu'on nomme *ellipses* *, et dont chacune sera l'intersection du plan de projection avec le cylindre ayant pour base le méridien que l'on projette, c'est-à-dire un cercle situé dans un plan incliné sur le premier (voyez, pour la définition du cylindre, ma Géométrie, sect. 7, définition 1re). Le grand axe de chaque ellipse sera la ligne des pôles, le petit axe se déterminera par son sommet qui est la projection du point où l'équateur rencontre le méridien cherché. S'il fait, par exemple, un angle de 40° avec le

* On appelle *ellipse* un courbe plane en forme d'ovale, telle que la somme des distances de chacun de ses points à deux points intérieurs fixes, nommés *foyers*, soit constamment égale à une ligne donnée. Ainsi (fig. 9), la courbe ABDH est une ellipse dont les foyers sont F, F', et l'on a toujours $AH = BF + BF' = EF + EF' = GF + GF'$, etc. La droite AH, où sont les foyers, se nomme le *grand axe* de l'ellipse; le milieu C en est le *centre*. Le petit axe est la perpendiculaire DI menée par le centre sur le grand axe. Pour tracer l'ellipse par un mouvement continu, on fixe aux deux points pris pour foyers les deux extrémités d'un fil égal en longueur au grand axe, et on tend le fil au moyen d'une pointe fine ou d'un crayon, qu'on fait mouvoir de manière que le fil soit toujours tendu. La courbe ainsi décrite par la pointe est une ellipse. Une ellipse est donc déterminée, et peut être construite, quand on connaît son grand axe et la position des foyers. La distance CF ou CF' se nomme l'*excentricité*. (Voyez, pour plus de détails, la Géométrie analytique.)

premier méridien ou plan de projection, en faisant tourner l'équateur (fig. 8) autour de E*e* comme charnière, pour le rabattre sur le plan du premier méridien, l'intersection de l'équateur avec le méridien à 40° viendra en un point A situé à 40° du point E ; menant alors la droite AB perpendiculaire sur E*e*, le point B sera la projection cherchée, ou le sommet du petit axe de l'ellipse. Les parallèles se projetteront suivant des lignes droites parallèles à la trace E*e* de l'équateur. Dans ce système, les parties centrales de la sphère, approchant d'être parallèles au plan du premier méridien, conservent assez fidèlement leur forme dans la projection, mais les parties voisines des bords sont fortement contractées par suite de leur position oblique sur la sphère, et par conséquent tout à fait défigurées, ce qui rend cette sorte de projection peu utile, si ce n'est pour de petites portions du globe.

45. 3° La *projection par développement* s'emploie pour représenter sur un plan une portion de zone AB*ba* (fig. 10) comprise entre deux parallèles et deux méridiens, telle qu'un état ou une province. Comme on ne peut développer sur un plan une portion AB*b a* de la surface sphérique, on développe en place une portion de surface conique AB'*b' a* tangente à la zone suivant l'arc A*a*, et comprise entre les mêmes parallèles et méridiens. L'arc A *a* se développe selon sa véritable grandeur, mais l'arc B' *b'* sera en excès. Tous les méridiens, passant par le pôle, se développeront suivant des lignes droites passant par le point S (fig. 11), sommet du cône, et les parallèles suivant des arcs concentriques dont le même point S sera le centre commun. Ayant tracé sur la carte un nombre suffisant de méridiens et de parallèles également espacés, d'un degré par exemple, on pourra facilement y rapporter les points connus par leur longitude et leur latitude. Ces sortes de cartes sont exactes dans

le bas, mais inexactes dans le haut. On peut en construire d'analogues, mais inexactes seulement au milieu, en prenant pour génératrice du cône la sécante A B au lieu de la tangente AB′, ou bien, comme en Russie, la sécante menée par les deux points intermédiaires de l'arc AB divisé en trois parties égales, ce qui donne des cartes assez exactes. Dans les cartes nommées *réduites*, en usage dans la marine, tous les méridiens sont représentés par des droites parallèles, les marins se dirigeant sur mer de manière que la boussole indique toujours le même angle avec le méridien, afin de tenir la route la plus courte. Ce parallélisme des méridiens augmentant les espaces en longitude à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, on a soin, dans la construction des cartes, d'agrandir les espaces en latitude dans le même rapport. Mais les configurations de la terre y sont fort altérées.

46. Au reste, le globe terrestre et toutes les espèces de cartes, qui en dérivent, permettent de résoudre, avec la plus grande facilité, les deux problèmes suivants :

Connaissant la longitude et la latitude d'un lieu, déterminer sa position sur le globe ou sur une carte ; et réciproquement, le lieu y étant marqué, trouver sa longitude et sa latitude.

IX. — *Moyen de déterminer le rayon de la terre en la supposant sphérique.*

47. Si la terre était exactement sphérique, on pourrait facilement, sauf l'effet de la réfraction, déterminer la grandeur de son rayon, en mesurant exactement la hauteur et la distance de deux stations, dont l'une serait à peine visible au côté opposé de l'horizon. Car, supposons deux montagnes M, M′ (fig. 12) ayant des hauteurs égales Mm, Mm', qu'on ait mesurées ainsi que

leur distance horizontale mHm', évidemment divisée en deux parties égales au point H commun aux deux horizons. Prolongeons MC jusqu'à la circonférence en D. La tangente étant moyenne proportionnelle entre la sécante et sa partie extérieure (voyez ma Géométrie, sect. 3, prop. 16), on aura $MD : MH :: MH : Mm$, mais la distance mm' des stations et leur hauteur Mm étant excessivement petites par rapport aux dimensions de la terre, la sécante MD peut être considérée comme égale au diamètre de la terre, qu'elle excède seulement de la hauteur de la station, et la tangente MH se confond sensiblement avec l'arc mH qui peut ainsi être pris pour le rayon de l'horizon. Nommant donc D le diamètre de la terre, r le rayon de l'horizon, et h la hauteur de la station, la proportion ci-dessus deviendra $D : r :: r : h$. Or, on a constaté que deux points, situés chacun à $1^{m}, 50$ au-dessus du niveau de la mer, s'aperçoivent par un temps favorable jusqu'à la distance de 8800 mètres. D'après la proportion ci-dessus, on aura donc $D : 4400 :: 4400 : 1{,}50$; d'où l'on tire $D = \frac{4400.4400}{1{,}50} =$ 12906666 mètres, ce qui donne pour le diamètre de la terre 1290 myriamètres, chiffre tant soit peu trop fort.

Au reste, ce procédé est plus curieux qu'utile.

48. Le rayon de la terre, toujours supposée sphérique, peut encore se déterminer en mesurant dans le sens du méridien un arc égal à 1^{0}. Car, connaissant la longueur d'un degré terrestre exprimé en mètres, par exemple, en la multipliant par 360 on aura celle de la circonférence, d'où l'on déduira la longueur du diamètre qui est à la circonférence dans le rapport de 1 à 3,1415....(Voy. ma Géom., sect. 3, prop. 27.) La question se réduit donc à chercher la longueur d'un degré, qui, étant moyennement de 111111 mètres, est susceptible d'être mesuré à quelques décimètres près. Pour cela, il faut

marcher exactement dans le sens d'un grand cercle de la terre, d'un méridien, par exemple, et mesurer la distance parcourue, en s'assurant que l'on s'est déplacé exactement d'un degré. Or, au moyen de mires méridiennes, on peut vérifier à chaque instant qu'on s'avance dans la direction du méridien. Quant au déplacement d'un degré, il est également facile à vérifier par l'observation d'étoiles qu'on choisit de préférence près du zénith, où la réfraction est si faible qu'on peut la regarder comme nulle. Soit M (fig. 13) le point de départ, M′ le point d'arrivée, MM′ étant un arc du méridien ; on observe en M et en M′ les hauteurs méridiennes EMH, EM′H′, d'une même étoile E voisine du zénith ; la distance angulaire de l'étoile au pôle étant connue, on en déduit à chaque station la hauteur du pôle ou la latitude ; si la différence des latitudes égale 1^0, on sera certain que l'arc MM′ est aussi d'un degré. Alors l'angle formé par les deux normales ou verticales MZ, M′Z′ a la même valeur.

Il reste donc à mesurer l'arc du méridien compris entre deux normales faisant un degré. Il serait très-long et très-difficile d'effectuer cette mesure à la règle, quoiqu'on l'ait fait ainsi en Amérique. Le procédé géodésique employé partout, et qui se nomme triangulation, consiste à mesurer une base qu'on prend d'environ 1 myriamètre selon les localités, et à y rattacher l'arc dont il s'agit par une chaîne de triangles formés de manière qu'ils n'aient pas d'angles trop aigus. Ainsi, pour déterminer l'arc AM (fig. 14), on mesure une base AB, et l'on choisit pour sommet du premier triangle un point C visible de A et de B. Avec le graphomètre, ou mieux le cercle répétiteur, on mesure les angles BAC, ABC, qui servent à calculer le côté BC On mesure ensuite l'angle BAa, et comme on a déjà l'angle ABa, on peut calculer le côté Aa du triangle ABa. On choisit de même pour sommet du deuxième triangle

un point D visible de B et de C, on mesure les angles BCD, CBD, on en déduit le côté CD, et par suite *a b ;* on continue la même suite d'opérations jusqu'à ce qu'on soit arrivé au point M. La somme des portions de l'arc AM, interceptées par les triangles successifs, donne la longueur de cet arc.

La mesure de la base AB se fait avec le plus grand soin au moyen de règles en cuivre qu'on place, non bout à bout, mais à une petite distance l'une de l'autre; on remplit alors l'intervalle vide au moyen d'un *Nonius* adapté à la règle et se mouvant au moyen d'une vis. C'est en opérant ainsi que Picard parvint le premier à trouver la longueur d'un degré du méridien.

X. — *Inégalité des degrés du méridien. — Aplatissement aux pôles. — Détermination du mètre.*

49. Si la terre était parfaitement sphérique, tous ses degrés auraient la même longueur : mais il n'en est pas ainsi. On a mesuré en divers lieux de la terre des arcs de méridien égaux à 1^0, et la comparaison des résultats a prouvé que sur un même méridien les arcs d'un degré croissaient sensiblement en longueur avec la latitude, c'est-à-dire en s'avançant de l'équateur vers les pôles. Des opérations exécutées avec le plus grand soin par les premiers astronomes des différents pays ont établi ce fait de la plus haute importance. On a trouvé, par exemple, qu'un degré en Suède était d'environ 800 mètres plus grand qu'à l'équateur. Les normales situées dans un même méridien, et faisant un angle de 1°, comprennent donc un espace plus grand vers le pôle qu'à l'équateur, c'est-à-dire sont plus écartées entre elles, d'où il résulte que la terre est moins courbée ou plus aplatie au pôle qu'à l'équateur. Prolongeant deux à deux, jusqu'à

leur point de rencontre en *r, s, t* (fig. 15), les normales faisant un angle de 1° à l'équateur, à une latitude moyenne, et au pôle, on pourra supposer que les arcs d'un degré *ea, bd, f*P, appartiennent à des cercles décrits des points *r, s, t,* comme centres. Or, dans des cercles différents, les arcs d'un même nombre de degrés ont des longueurs proportionnelles à leurs rayons, et l'arc *b d* étant plus long que l'arc *ea,* il est clair que le rayon *b s* est plus grand que le rayon *re:* de même le rayon *t*P est plus grand que le rayon *b s*; on voit donc que toutes les verticales ne concourent pas en un même point central C, ce qui aurait lieu si la terre était sphérique, l'arc P*f* étant sur une plus grande circonférence que l'arc *db*, et celui-ci sur une plus grande que l'arc *a e.* Comme une plus grande circonférence approche davantage de la ligne droite, ainsi qu'on peut s'en assurer en menant une tangente commune au point de contact de deux circonférences tangentes intérieurement, il en résulte encore que le méridien s'aplatit en allant de l'équateur au pôle. L'ellipse étant, après le cercle, la courbe la plus simple, jouissant en outre de la propriété d'être aplatie en deux points opposés et renflée en deux autres situés sur une perpendiculaire à la droite joignant les deux premiers, on a donc présumé que la forme du méridien était elliptique, et qu'ainsi la terre était un ellipsoïde de révolution; le calcul a pleinement justifié cette supposition, et de la figure elliptique du méridien on a déduit pour les degrés intermédiaires des valeurs qui cadrent très-bien avec les mesures les plus minutieuses. C'est par là qu'on a trouvé les nombres suivants pour la valeur des deux demi-axes, dont l'un, nommé *demi-diamètre équatorial,* est la distance du centre de la terre à un point de l'équateur ou le rayon de l'équateur, et dont l'autre, nommé *demi-diamètre polaire,* est la distance du même centre au pôle :

Demi-diamètre équatorial. . . .	6 577 109 mètres.
Demi-diamètre polaire.	6 556 199 mètres.
Différence ou aplatissement. . .	20 910 mètres.

ce qui donne un peu plus de 2 myriamètres pour la mesure de l'aplatissement au pôle. La valeur de 20 910 mètres étant à fort peu près égale à $\frac{1}{305}$ du demi-diamètre équatorial, c'est donc cette fraction qui exprime l'aplatissement.

Ces valeurs ont été trouvées d'après les nouvelles opérations de MM. Biot et Arago, qui donnent 10 000 725 mètres pour le quart du méridien terrestre *.

* D'après les premières opérations faites sur le méridien de Paris, entre Barcelonne et Dunkerque, Delambre avait obtenu 5 130 740 toises pour la distance de l'équateur au pôle comptée sur ce méridien. Ce nombre fut adopté par l'Académie des sciences, et sa dix-millionième partie forma la nouvelle unité de mesure ou le *mètre*, dont la longueur fut ainsi fixée par la loi à 0^{t},5130740 ou 3 $^{pi.}$ 0 $^{po.}$ 11 $^{l.}$, 296 à 1 millième de ligne près. Les dernières mesures de MM Biot et Arago, qui ont prolongé le même méridien d'un côté jusqu'à l'île de Formentera, de l'autre jusqu'aux îles Shetland, ayant donné 5 131 111 toises pour le quart du méridien, mesure qui surpasse de 371 toises celle de Delambre, il en résulte que la valeur attribuée au mètre n'est réellement pas tout à fait exacte, au moins dans l'état actuel de la science, en ce sens qu'elle n'est pas rigoureusement la dix-millionième partie de la longueur adoptée aujourd'hui pour la distance de l'équateur au pôle, comptée sur le méridien de Paris. Néanmoins, on regarde cette valeur comme tout à fait exacte, parce qu'elle a été ainsi fixée par la loi, et maintenant qu'une nouvelle loi, celle du 4 juillet 1837, a définitivement supprimé les anciennes mesures, le mètre conserve toujours sa longueur primitive. Or, 1 toise valant 1^{m}, 949036, la différence de 371 toises, qui existe entre les deux déterminations précédentes, égale 723 mètres. Par conséquent, pour que la longueur du mètre fût exactement la dix-millionième partie du quart du méridien de Paris, il faudrait qu'on lui ajoutât la dix-millionième partie de 723 mètres. Mais comme cette fraction, égale à 0 ^{m},0000723, ne fait pas même les trois quarts d'un dixième de millimètre, on voit que l'inexactitude du mètre actuel est tellement minime que cela ne vaut pas la peine d'y avoir égard, et qu'on pourrait la regarder absolument comme nulle, quand bien même la loi n'aurait pas fixé définitivement la longueur du mètre.

Le rayon moyen ou le demi-diamètre moyen de la terre a pour valeur la demi-somme des deux demi-diamètres précédents, c'est-à-dire 6 366 654 mètres ou 636 myriamètres et $\frac{2}{3}$, à 12 mètres près. C'est le rayon terrestre dont nous ferons usage pour toutes les évaluations où le rayon de la terre sera pris pour unité.

Si l'on prenait pour rayon terrestre moyen celui dirigé du centre au 45e degré de latitude, on aurait pour sa valeur 6 366 653 mètres et une fraction, ce qui ne diffère pas sensiblement de la valeur précédente.

La longueur totale du méridien valant 40 000 000 de mètres (ou 40 002 892 mètres, d'après la détermination de MM. Biot et Arago), la valeur moyenne d'un degré de latitude est de 111 111 (ou 111 119) mètres, de sorte qu'on peut prendre, en nombre rond, 11 myriamètres, ou 11,1 myriamètres, pour la mesure d'un degré, lorsque la question ne réclame pas une très-grande exactitude.

50. Ce qui précède suppose que tous les méridiens ont la même forme elliptique; mais il n'en est pas ainsi, car les degrés du méridien, mesurés au nord et au sud de l'équateur, à même latitude, n'ont pas la mêmelongueur. Dès lors les méridiens ne sont pas exactement des ellipses. En outre, certaines opérations, faites perpendiculairement au méridien de Paris, ont porté à croire que les parallèles n'étaient pas rigoureusement circulaires. MM. Biot et Arago allaient s'occuper de cette importante question, lorsque la guerre vint les en empêcher. Toutefois il est probable que la terre n'est pas exactement un solide de révolution, mais bien un *sphéroïde* irrégulier. Au reste, comme les différences doivent être fort petites, on peut, en général, se dispenser d'y avoir égard dans toutes les questions relatives à la figure de la terre, et nous continuerons à la regarder comme un volume engendré par une demi-ellipse ou un demi-

cercle un peu renflé vers son milieu, tournant autour de son diamètre, qui est en même temps l'axe de la terre et l'axe du monde.

On peut même, dans les usages ordinaires, comme dans la construction des globes terrestres, etc., négliger l'aplatissement polaire, qui est seulement égal à $\frac{1}{305}$ du rayon de l'équateur; car si on voulait représenter la terre sur un globe de 610 millimètres de diamètre, le rayon de l'équateur aurait 305 millimètres, et le rayon polaire en aurait seulement 304, ce qui donne la différence insensible d'un millimètre. A plus forte raison, peut-on négliger les inégalités de la surface terrestre, car le quatorzième pic de l'Himalaya, au Thibet, qui est la plus haute montagne connue, n'ayant que 7 821 mètres, ne serait pas même représenté par $\frac{1}{2}$ millimètre sur un globe de 610 millimètres de diamètre, et par conséquent y serait bien moins sensible que les aspérités de la peau d'une orange ne le sont sur sa surface.

La surface du globe, calculée d'après la valeur du demi-diamètre moyen, est de 5094486 myriamètres carrés. La mer en recouvre environ les $\frac{3}{5}$.

La circonférence de l'équateur est de 40 067 375 mètres.

CHAPITRE TROISIÈME.

—

DU SOLEIL.

—

XI. — *Mouvement propre du soleil. — Écliptique; son inclinaison sur l'équateur; points équinoxiaux; points solsticiaux. — Zodiaques. — Tropiques.*

51. Un premier aspect du ciel nous porte à croire que tous les astres accomplissent leur révolution autour de la terre dans la période commune d'un jour sidéral ou de 24 heures. Mais un examen plus attentif, continué plusieurs jours de suite, nous montre bientôt que le soleil, outre le mouvement diurne, a encore un mouvement particulier, qu'on appelle son *mouvement propre*, en vertu duquel il se déplace continuellement sur la sphère céleste en sens inverse du mouvement général des étoiles, c'est-à-dire d'occident en orient. En effet, si l'on observe les étoiles qui se lèvent à l'horizon peu de temps après le coucher du soleil, et qu'on note, au moyen d'un bon chronomètre, l'intervalle de temps qui s'écoule entre leur lever et le coucher du soleil, en répétant la même observation quelques jours après, on verra que cet intervalle de temps a diminué, ces étoiles se levant plus tôt relativement au coucher du soleil qu'elles ne le faisaient auparavant. D'où il résulte nécessairement que les étoiles se sont avancées vers le soleil, ou que le soleil s'est avancé vers elles. Or, on ne peut admettre que l'ensemble de la sphère céleste, composée d'étoiles

situées la plupart à d'immenses distances les unes des autres, se déplace d'un mouvement commun, chaque étoile avançant exactement de la même quantité vers le soleil, c'est donc à un mouvement propre de cet astre qu'il faut raisonnablement attribuer la diminution journalière qui survient dans sa distance aux étoiles. La valeur de cette diminution, ou la quantité dont le soleil s'avance chaque jour vers l'orient, se détermine aisément en observant deux jours de suite son passage au méridien, au moyen de la lunette méridienne, dont un verre a été noirci ou enduit de fumée, précaution indispensable dans toutes les observations du soleil, afin de pouvoir le fixer. Comme le disque apparent du soleil excède le champ de la lunette, au lieu de noter l'instant où le fil moyen, contenu dans le plan du méridien, passe par le centre de l'astre, qu'on ne pourrait d'ailleurs déterminer avec précision, on observe l'instant où le fil est tangent au bord occidental, puis au bord oriental, et l'on prend la moyenne des observations. On choisit une certaine étoile brillante dont on note l'instant du passage au méridien, qui a lieu, par exemple, $1^{h.}$ après celui du soleil; répétant le lendemain la même suite d'opérations, on ne trouve plus que 56 minutes et 4,09 secondes pour différence entre les époques des deux passages au méridien. Par conséquent le soleil s'est avancé vers l'étoile d'un arc correspondant à $3' 55'',91$ de temps, c'est-à-dire d'un peu moins d'un degré ($59' 8'',33$). C'est l'angle formé par les deux plans horaires du soleil qui correspondent à deux passages consécutifs d'une même étoile au méridien, ou bien la différence qui existe entre les deux passages consécutifs de l'étoile et du soleil au méridien. Cette quantité, dont la sphère céleste doit encore tourner pour que le soleil revienne au méridien, mesure l'excès du jour solaire sur le jour sidéral; et cet excès, qui est

de 3′ 55″,91, temps moyen, se nomme l'*accélération diurne des étoiles*, parce qu'il marque le temps dont une étoile, partie du méridien en même temps que le soleil, y devance son retour.

52. Ce qui précède établit le mouvement du soleil d'occident en orient, c'est-à-dire en ascension droite. Mais si, avec le cercle mural, on observe à diverses époques la position du soleil relativement à l'équateur, on trouve qu'il est tantôt au nord, tantôt au midi de ce cercle, et à différents degrés d'écartement, d'où il résulte que le soleil a aussi un mouvement propre du midi au nord et du nord au midi, c'est-à-dire en déclinaison. Cet astre, étant ainsi sollicité par deux forces rectangulaires agissant l'une dans le sens de l'ascension droite, l'autre dans le sens de la déclinaison, doit donc, conformément aux lois générales de la mécanique, se mouvoir selon la diagonale ou la ligne intermédiaire entre ces deux directions, et décrire, par conséquent, une courbe oblique à chacune d'elles. En effet, c'est ce que prouve l'observation suivie de la marche du soleil. Car, si l'on marque chaque jour, sur un globe, sa position exactement déterminée avec le cercle mural à midi, l'instant le plus propre pour observer le soleil, qui, parvenu au plus haut point de sa course, reste un moment stationnaire avant de commencer à descendre, on trouve qu'il décrit un grand cercle de la sphère, nommé l'*écliptique*, et incliné sur l'équateur, au nord et au midi duquel il reste successivement six mois de suite. L'écliptique étant un grand cercle de la sphère, il en résulte que c'est une courbe plane, et qu'ainsi la ligne menée du soleil à la terre est toujours dans un même plan. L'angle qui mesure le plus grand écartement du soleil par rapport à l'équateur, lorsqu'il est dans la partie méridionale, c'est-à-dire sa plus grande déclinaison australe, est de 23° 27′ 40″. Ce

maximum s'obtient en comparant les valeurs de la déclinaison déterminées jour par jour à midi avec le cercle mural; on trouve qu'aucune valeur ne dépasse ce nombre de degrés, qui mesure également la plus grande déclinaison boréale du soleil. La ligne joignant ces deux points de plus grand écartement passe par le centre de la terre, et fait avec le plan de l'équateur un angle de 23° 27′ 40, qui est par conséquent la mesure de l'*obliquité de l'écliptique* sur l'équateur.

L'écliptique a été ainsi nommée, parce que c'est dans le voisinage de ce cercle qu'ont lieu les éclipses, comme on le verra plus loin.

53. Le soleil ne peut aller du nord au midi de l'équateur, ni du midi au nord, sans passer par le plan équatorial. Les deux points où il rencontre l'équateur sont très-remarquables, et il importe d'en déterminer exactement la position. Le 20 mars, à midi, le soleil est au sud de l'équateur, le 21, il est au nord; c'est donc à une époque intermédiaire que le soleil s'est trouvé dans l'équateur même. Soit a (fig. 16) la déclinaison australe S E observée le 20 à midi, a' la déclinaison boréale E N observée le 21 également à midi; le mouvement du soleil pouvant être considéré comme sensiblement uniforme pendant 24$^{h.}$, on a la proportion $a + a' : 24^{h.} :: a : x = \frac{24a}{a+a'}$, ce qui fait connaître le nombre d'heures, de minutes et de secondes, qu'on doit ajouter à l'heure notée quand le soleil est en S, pour avoir l'heure précise de son passage dans l'équateur. Répétant les mêmes observations les 20 et 21 septembre, on en déduit pareillement l'instant précis où le soleil se trouve dans l'équateur en repassant du nord au midi. Les deux points du passage du soleil dans l'équateur se nomment *points équinoxiaux* ou *équinoxes*, parce que, le soleil se trouvant dans ces points, le jour est égal à la nuit sur toute la surface de la terre, les pôles

exceptés. Le point qui correspond au passage du soleil du midi au nord, le 21 mars, se nomme *équinoxe du printemps;* le point du passage qui a eu lieu du nord au midi, le 21 septembre, est l'*équinoxe d'automne.*

54. Le soleil, entrant dans notre hémisphère, le 21 mars, par l'équinoxe du printemps, s'élève chaque jour de plus en plus dans le ciel en s'avançant vers le nord, jusqu'au point de son plus grand écartement, situé, comme on l'a dit, à 23° 27′ 40″ de l'équateur. Il redescend ensuite vers l'équateur, qu'il coupe à l'équinoxe d'automne, le 21 septembre, pour entrer dans l'hémisphère austral, où il atteint le même degré d'écartement que dans le boréal. Les deux points de plus grande déclinaison se nomment *solstices* ou *points solsticiaux*, parce que le soleil y paraît stationnaire par rapport à l'équateur. Le boréal, qui a lieu du 20 au 21 juin, se nomme *solstice d'été;* l'austral, qui a lieu le 21 décembre, est le *solstice d'hiver.* Les cercles que le soleil décrit dans le ciel lorsqu'il est parvenu aux solstices, se nomment *tropiques :* on distingue de même le *tropique d'été* ou *du Cancer*, situé dans l'hémisphère boréal, et le *tropique d'hiver* ou *du Capricorne*, situé dans l'hémisphère austral.

55. L'écliptique a été divisée, il y a plus de 3000 ans, en douze parties, égales chacune à 30°; et comme tous les mouvements apparents du soleil et des planètes alors connues s'opéraient dans la zone céleste comprise entre deux cercles menés parallèlement à l'écliptique, à 9° de part et d'autre, les anciens avaient imaginé, pour mieux suivre ces mouvements, de les circonscrire par cette zone de 18°, qu'ils ont nommée *zodiaque*, du mot grec ζώδιον (figure d'animal), parce que la plupart des douze constellations, à peu près également espacées qu'elle renferme, ressemblent à des animaux dont elles ont reçu le nom; et par suite ces douze constellations ont été

nommées *zodiacales* (20). Le zodiaque s'est ainsi trouvé partagé à peu près naturellement en douze parties égales, au moyen d'arcs menés perpendiculairement à l'écliptique par les douze points primitifs de division. Ces parties ont été nommées *signes du zodiaque*, ou simplement *signes*, parce qu'elles servent à marquer les saisons, le soleil les parcourant dans l'ordre suivant :

1. *Le Bélier*.	♈	7. *La Balance*. . .	♎
2. *Le Taureau*. . .	♉	8. *Le Scorpion*. . .	♏
3. *Les Gémeaux*. . .	♊	9. *Le Sagittaire*. .	♐
4. *Le Cancer*. . . .	♋	10. *Le Capricorne*. .	♑
5. *Le Lion*.	♌	11. *Le Verseau*. . .	♒
6. *La Vierge*. . . .	♍	12. *Les Poissons*. .	♓

Les douze signes avaient reçu les noms des constellations auxquelles ils correspondaient lors de l'invention des signes, il y a plus de 3000 ans ; mais, par suite de la *précession des équinoxes* (84), les signes se trouvent maintenant plus éloignés vers l'occident de 30° environ que les constellations de même nom. Ainsi le soleil, qui entre dans le signe du *Bélier* à l'équinoxe du printemps, désigné pour cette raison par le signe ♈, se trouve alors dans le signe des *Poissons*, c'est-à-dire qu'il a rétrogradé d'un signe par rapport à son mouvement propre. Les signes ne doivent donc plus être considérés que comme des arcs de l'écliptique, valant chacun 30°; aussi ne marque-t-on plus aujourd'hui la position des astres sur l'écliptique que par leur distance à l'équinoxe du printemps. Comme en outre, parmi les planètes nouvellement découvertes, il y en a qui s'écartent à 35° au moins de part et d'autre de l'écliptique, ce qui nécessiterait une largeur de 70° pour le zodiaque, il résulte de ce qui précède que le zodiaque et ses signes sont devenus à peu près complétement inutiles.

L'écliptique, comme tout grand cercle de la sphère,

a deux pôles. Ce sont deux points du ciel diamétralement opposés, et situés à égale distance des points de l'écliptique. Le pôle qui est dans l'hémisphère boréal ou austral se nomme *pôle boréal* ou *austral de l'écliptique.* La sphère céleste est partagée par le plan de l'écliptique, comme par celui de l'équateur, en deux hémisphères, nommés *hémisphère boréal* et *austral de l'écliptique.* Ce sont les constellations comprises dans le boréal qu'on appelle *boréales*, et celles comprises dans l'austral qu'on appelle *australes.* L'axe P'*p*' (fig. 22) des pôles de l'écliptique, étant perpendiculaire au plan de ce cercle, fait donc, avec l'axe du monde P*p*, le même angle de 23° 27′ 40″ que le plan de l'écliptique fait avec le plan de l'équateur; et comme tous les points de la sphère céleste tournent autour des pôles de l'équateur par suite du mouvement diurne, il en résulte que les pôles de l'écliptique doivent décrire deux petits cercles situés, l'un à 23° 27′ 40″ du pôle boréal, et qu'on nomme *cercle polaire arctique*, l'autre à 23° 27′ 40″ du pôle austral, et qu'on nomme *cercle polaire antarctique.*

Enfin, le cercle P*p*P'*p*', qui passe par les pôles P, *p* de l'équateur et les pôles P', *p*' de l'écliptique, se nomme le *colure des solstices*, et le cercle horaire PA*p*V, mené par les pôles de l'équateur et les points équinoxiaux V, A, est le *colure des équinoxes.* Ces deux cercles offrent peu d'utilité.

XII. — *Inégalité des jours et des nuits. — Saisons. — Climats.*

56. L'inégalité qu'on observe en tous lieux dans la durée des jours dépend de la position du soleil par rapport à l'équateur, ou de sa déclinaison, comme il est facile de s'en convaincre par des observations journalières

faites sur un horizon quelconque. Le soleil décrivant chaque jour une circonférence de cercle parallèle à l'équateur, il suffit pour la déterminer d'en connaître un seul point, c'est-à-dire, sa déclinaison, qui est donnée jour par jour dans les tables astronomiques pour tous les lieux de la terre. Les dimensions du globe étant comme infiniment petites relativement aux distances des astres, il est indifférent, dans cette question, de prendre pour horizon d'un lieu l'horizon matériel ou sensible bornant la vue de l'observateur, ou l'horizon rationnel, qui n'est autre chose que le grand cercle mené par le centre de la terre parallèlement à l'horizon matériel (6). Prenons donc l'horizon rationnel, et supposons d'abord l'observateur situé au pôle nord. Soit le cercle P E*pe* (*fig.* 17) représentant un méridien, P*p* la ligne des pôles, ou l'axe contenant les centres de toutes les circonférences successives décrites par le soleil; la perpendiculaire E*e*, menée par le centre C de la terre à l'axe P*p*, sera la trace de l'équateur sur le plan méridien, et en même temps celle de l'horizon, qui est toujours perpendiculaire à la verticale du lieu se confondant ici avec l'axe. Le 21 mars, le soleil décrit le cercle O*o*, qui est parallèle à l'équateur, et en est situé à 23° 27′ 40″: par conséquent il n'atteint pas l'horizon, au-dessus duquel il reste toujours visible à la même hauteur, et il n'y a pas de nuit. Il en sera encore de même les jours suivants, le soleil étant toujours visible, mais baissant de plus en plus en décrivant des circonférences parallèles et très-rapprochées en forme de spirale, jusqu'à ce qu'ayant atteint l'équateur, son centre en décrive la circonférence. Alors, sauf l'effet de la réfraction, on ne voit ce jour-là que la moitié du disque du soleil. Le lendemain, le jour ne commence pas, le soleil étant tout entier au-dessous de l'horizon, dont il s'éloigne de plus en plus pendant trois mois, jusqu'à ce

qu'ayant atteint la distance de 23° 27′ 40″ relativement à l'équateur ou l'horizon, il commence à s'en rapprocher de nouveau pour l'atteindre le 21 septembre, et ramener le jour à l'observateur polaire. Par conséquent, du 21 septembre au 21 mars, il y a nuit au pôle boréal, et jour depuis le 21 mars jusqu'au 21 septembre. C'est l'inverse au pôle austral. Il n'existe pas réellement une nuit de 6 mois au pôle, parce que la plus petite portion visible du disque du soleil suffit pour amener le jour, et que la réfraction, très-considérable par suite de la condensation de l'air dans cette région glacée, accélère sensiblement l'époque du retour des rayons solaires sur l'horizon.

57. Supposons maintenant que l'observateur marche vers l'équateur jusqu'à ce qu'il soit éloigné du pôle d'une quantité P Z (fig. 18) égale à 23° 27′ 40″; Z étant son zénith et N son nadir, son horizon sera la perpendiculaire Hh menée du centre C sur la verticale du lieu Z N. La trace Ee de l'équateur fera avec Hh un angle mesuré par eh = P Z = 23° 27′ 40″. Le 21 juin, le soleil se trouvant en O, au solstice d'été, décrit une circonférence tangente à l'horizon au point H, et par conséquent ne se couche pas pour l'observateur. Après cette époque, le soleil, se rapprochant de l'équateur, décrit des circonférences qui sont coupées par l'horizon Hh en deux parties, l'une supérieure et l'autre inférieure, de moins en moins inégales; par conséquent, la longueur du jour diminue successivement de plus en plus, et la longueur de la nuit augmente dans le même rapport. Enfin le soleil ayant atteint l'équateur le 21 septembre, il en décrit la circonférence, qui, étant coupée en deux parties égales par l'horizon, rend le jour égal à la nuit. On voit qu'alors il doit en être de même sur toute la surface de la terre, car la circonférence de l'équateur est divisée en deux également par un horizon rationnel quelconque. Le soleil venant ensuite

au midi de l'équateur, la portion supérieure de la circonférence qu'il décrit est plus petite que l'inférieure, et le jour est plus court que la nuit; leur inégalité augmente successivement à mesure que le soleil s'éloigne de plus en plus de l'équateur, jusqu'à ce qu'étant arrivé le 21 décembre à une distance de 23° 27′ 40″, sa circonférence n'atteigne l'horizon qu'un instant au point *h*. Le soleil semblera donc vouloir se lever ce jour-là, mais disparaissant bientôt au-dessous de l'horizon, la nuit à peine interrompue recommencera de suite. Après cette époque, le soleil se rapprochant de plus en plus de l'équateur, la durée du jour augmente progressivement de la même quantité dont elle avait diminué : la nuit au contraire diminue dans le même rapport jusqu'à ce qu'elle redevienne égale au jour, le soleil ayant atteint de nouveau l'équateur le 21 mars. Le soleil, venant au nord de l'équateur, décrit des circonférences dont la portion supérieure surpasse de plus en plus l'inférieure, le centre s'élevant de plus en plus au-dessus de l'horizon. Le jour est donc plus grand que la nuit et augmente progressivement dans le même rapport que celle-ci diminue, jusqu'à ce que le soleil, ayant atteint le solstice d'été le 21 juin, ne se couche pas, comme nous l'avons déjà dit. Ce point remarquable de la surface de la terre pour lequel le soleil reste un jour sans se coucher, et, six mois après, un jour sans se lever, est situé sur un parallèle nommé *cercle polaire*, dont tous les points jouissent des mêmes phénomènes. Chaque pôle a son cercle polaire, qui est appelé *arctique* pour le pôle nord, et *antarctique* pour le pôle sud. Ces deux cercles, qui se nomment *cercles polaires terrestres*, correspondent parfaitement aux cercles polaires de la sphère céleste (55), et les uns peuvent se déterminer par les autres, comme nous l'avons vu (55, 56) pour tous les parallèles célestes et terrestres. Il en est de même des

tropiques célestes, qui déterminent sur le globe deux parallèles situés à 23° 27′ 40″ de l'équateur, l'un au nord, appelé *tropique terrestre du Cancer*, l'autre au sud, appelé *tropique terrestre du Capricorne.*

58. Pour les points intermédiaires entre les pôles et les cercles polaires, le soleil reste plusieurs jours sans se coucher, et de même, à six mois d'intervalle, sans se lever; mais il se lève et se couche chaque jour pour tout point situé entre les cercles polaires. Dans chaque position intermédiaire entre un cercle polaire et l'équateur, à Paris, par exemple, le jour est plus long que la nuit pendant tout le temps que le soleil reste dans notre hémisphère, c'est-à-dire, depuis le 21 mars jusqu'au 21 septembre, la différence augmentant peu à peu à partir du 21 mars avec la déclinaison boréale du soleil, et atteignant son *maximum* le 21 juin, au solstice d'été, pour décroître ensuite en même temps que la déclinaison solaire jusqu'au 21 septembre, où toutes deux sont nulles à la fois. Alors, comme nous l'avons dit, le jour est égal à la nuit par toute la terre; c'est l'équinoxe d'automne. Le soleil passant dans l'hémisphère austral, la nuit commence à devenir plus longue que le jour, et la différence de leur durée augmente progressivement en même temps que la déclinaison australe du soleil, jusqu'à ce qu'elle atteigne son *maximum* le 21 décembre, au solstice d'hiver, recommençant ensuite à diminuer avec la déclinaison, jusqu'au 21 mars, où elle redevient nulle; c'est alors l'équinoxe du printemps.

59. L'observateur étant situé en un point quelconque de l'équateur, son horizon passe par l'axe de la terre qui contient, comme on l'a dit, les centres de toutes les circonférences décrites par le soleil. Par conséquent, quelle que soit la position du soleil entre les deux solstices, la circonférence qu'il décrit ce jour-là est coupée par l'ho-

rizon en deux parties égales, donc à l'équateur le jour est constamment égal à la nuit. C'est ce qui frappe les voyageurs se rendant à Quito, ville située au Pérou dans la région de l'équateur. Dans cette région, les ombres méridiennes sont dirigées vers le sud depuis le 21 mars jusqu'au 21 septembre, et vers le nord depuis le 21 septembre jusqu'au 21 mars.

60. Les changements de position du soleil dans l'écliptique produisent encore, outre l'inégalité des jours, les quatre *saisons* de l'année, c'est-à-dire, le *printemps*, qui dure du 21 mars au 21 juin, l'*été*, du 21 juin au 21 septembre, l'*automne*, de là au 21 décembre, et ensuite l'*hiver* jusqu'au 21 mars.

61. La surface du globe est divisée, par les deux tropiques et les deux cercles polaires, en cinq parties ou zones, qui sont la *zone torride*, les *zones tempérées*, et les *zones glaciales*.

La zone torride est la portion du globe située entre les deux tropiques. On lui a donné l'épithète de torride, qui signifie brûlée, parce que, recevant les rayons perpendiculaires du soleil, la chaleur y est considérable. Néanmoins la longueur des nuits à peu près égale à celle des jours, l'abondance des rosées et des pluies qui rafraîchissent l'air, et les vents d'est à peu près constants dans cette région y rendent la chaleur supportable. Elle a 46° 55′ 20″ de largeur, ou 522 myriamètres.

Les zones tempérées sont les deux portions comprises entre les tropiques et les cercles polaires. Comme elles n'ont jamais le soleil au zénith d'un de leurs points, sans recevoir cependant ses rayons très-obliquement, elles n'éprouvent ni chaleurs trop fortes, ni froids excessifs, ce qui leur a fait donner leur nom. Les pays situés au milieu de ces zones, comme Marseille, etc., sont les plus agréa-

bles pour habiter. Chaque zone tempérée a 43° 4′ 40″ de largeur, ou 478 myriamètres.

Les zones glaciales, qui s'étendent depuis les cercles polaires jusqu'aux pôles, sont ainsi nommées parce que le froid y est excessif pendant la plus grande partie de l'année, à cause de l'extrême obliquité des rayons solaires, et de la longueur des nuits. Chacune d'elles a 23° 27′ 40″ de largeur, ou 261 myriamètres.

En ajoutant cette largeur à celle de la zone tempérée et à la demi-largeur de la zone torride, on retrouve en effet 1000 myriamètres, ou le quart du méridien.

Chaque zone tempérée est à peu près six fois aussi grande qu'une zone glaciale, et la zone torride dix fois aussi grande qu'une zone glaciale.

62. On appelle *climat*, une portion de la surface du globe comprise entre deux parallèles situés de manière que le plus grand jour de l'année est plus long d'une demi-heure, ou d'un mois, au parallèle le plus éloigné de l'équateur, qu'à celui qui en est le plus rapproché. On distingue donc deux sortes de climats, ceux de demi-heure, compris entre l'équateur et chaque cercle polaire et ceux de mois, compris entre un cercle polaire et son pôle. Nous avons vu qu'au cercle polaire le plus grand jour était de 24 heures, et qu'à l'équateur il était toujours de 12 heures. Il y a donc 24 climats de demi-heure depuis l'équateur jusqu'à chaque cercle polaire ; et chaque pôle ayant un jour de six mois, il n'y a que six climats de mois entre un cercle polaire et le pôle correspondant. Ainsi chaque hémisphère est divisé en 30 climats, ce qui fait 60 pour la surface entière du globe. Les climats de demi-heure ne sont pas égaux entre eux ; leur largeur diminue à mesure qu'on va de l'équateur aux cercles polaires. Au contraire, les climats de mois augmentent en largeur en allant du cercle polaire à son pôle.

Tous les pays situés dans un même climat ont les saisons de l'année semblables, et les jours égaux à la même époque.

XIII. — *Variation du diamètre apparent du soleil. — Orbite elliptique. — Apogée. — Périgée. — Distance moyenne. — Grandeur.*

63. Le soleil, parvenu au plus haut point de sa course, paraît nous offrir chaque jour un disque de même diamètre. Mais on constate aisément des variations sensibles dans sa grandeur, en l'observant à différentes époques à l'aide d'un instrument spécial nommé *micromètre* ou mieux *héliomètre* (mesure du soleil). Il est composé de deux fils très-fins, l'un fixe, l'autre mobile par le moyen d'une vis, dont chaque tour le rapproche ou l'éloigne du premier d'une quantité égale à une minute. On place l'instrument de manière que les fils réunis en un seul touchent le bord inférieur du soleil, puis on éloigne le fil mobile de manière à le rendre tangent au bord supérieur. L'aiguille d'un cadran fixé à la vis indique combien on lui fait faire de tours et de fractions de tours, et par conséquent combien de minutes et de fraction de minute a le diamètre apparent du soleil. Le *maximum* de ce diamètre apparent, qui est de 32′ 35″,6, a lieu le 1er janvier, le *minimum*, de 31′ 31″, correspond au 1er juillet.

Comme on ne peut raisonnablement admettre que le soleil change périodiquement de dimensions, on est forcé de conclure que les variations de son diamètre apparent ne peuvent provenir que d'un changement de distance.

Or, si un objet de grandeur AB (fig. 19), situé d'abord à une distance D d'un observateur placé au point O, est ensuite transporté parallèlement à lui-même jusqu'à une distance D′ de l'observateur, les angles sous-tendus P, P′,

sous lesquels l'observateur l'apercevra successivement, seront en raison inverse des distances; car l'angle $P = \frac{AB}{D}$, et de même l'angle $P' = \frac{AB}{D'}$, on aura donc $P : P' :: \frac{AB}{D} : \frac{AB}{D'} :: \frac{1}{D} : \frac{1}{D'}$; donc le diamètre apparent de l'objet diminue, aux yeux de l'observateur, en raison inverse des distances; et réciproquement, les distances doivent augmenter en raison de la diminution du diamètre apparent. Mais avec l'héliomètre on peut déterminer jour par jour le rapport des variations du diamètre apparent du soleil; par conséquent, il sera facile d'en conclure le rapport des variations de sa distance. D'où il résulte que si à partir d'un point fixe F (fig. 20), représentant la terre, on mène une droite FA dans une direction fixe, et qu'à partir de cette droite on construise les angles AFB, AFC,.... déterminés par les positions méridiennes du soleil observées à différents jours de l'année, en choisissant une longueur FA comme unité, pour y rapporter les distances du soleil correspondantes aux diamètres apparents observés les mêmes jours que ci-dessus, et prenant sur ces droites des distances FB, FC, ... dans le rapport des diamètres apparents, la courbe, menée par les points A, B, C,.... ainsi déterminés, représentera exactement l'orbite relative décrite par le soleil autour de la terre. La construction donne une courbe sensiblement plus longue que large, c'est-à-dire, elliptique, dont le point F occupe, non le centre, mais un des foyers. Ainsi le soleil, en vertu de son mouvement propre dirigé d'occident en orient, parcourt le zodiaque en décrivant l'écliptique qui est, non un grand cercle, comme nous l'avons supposé jusqu'ici, mais une ellipse, dont la terre occupe un foyer.

64. La terre, occupant un foyer F de l'écliptique, est donc excentrique à cette courbe. Sa distance FO au centre O s'appelle *excentricité*. Le point P de l'orbite so-

laire, le plus rapproché de la tere, se nomme le *périgée* de cette orbite, et le point E diamétralement opposé, qui en est le plus éloigné, se nomme l'*apogée*. Le demi-grand axe O P, étant égal à la demi-somme des distances F P, F′ P, et par conséquent à la demi-somme des *distances périgée* et *apogée* F P, F E, représente la *distance moyenne* du soleil à la terre. Le grand axe E P de l'écliptique se nomme la *ligne des apsides*.

Il est facile de déterminer les distances périgée et apogée du soleil en prenant la distance moyenne pour unité. Car le diamètre apparent du soleil au périgée P égalant 32′ 35″, 6, et son diamètre apparent à l'apogée E égalant 31′ 31″, comme les distances sont toujours en raison inverse des diamètres apparents (63), on aura la proportion F P : F E : : 31′ 31″ : 32′ 35″, 6 : d'où l'on déduit F P + F E : F P : : 31′ 31″ + 32′ 35″, 6 : 31′ 31″, ou bien 2 : F P : : 64′ 6″, 6 : 31′ 31″, ce qui donne F P = 0,98321, et par suite F E = 1,01679.

Donc l'excentricité de l'écliptique ou la distance O F = 0,01679*.

Réciproquement, en partant de cette valeur pour l'excentricité, on trouve exactement les mêmes distances relatives que celles qui résultent de la mesure des diamètres apparents. Lorsque l'on connaît la distance D de

* Delambre, dans ses tables du soleil calculées pour l'année 1810, et qui servent de base, au moins en France, à tous les calculs astronomiques, donne 16′ 17″, 79 pour le demi-diamètre apparent du soleil au périgée, ou 32′ 35″, 58 pour le diamètre entier. L'excentricité calculée pour 1810, d'après les mêmes tables, est 0,0167905427. Dans son Astronomie, Delambre porte la variation annuelle de l'excentricité à 0,00000041632; mais si on la calcule d'après ses tables du soleil, on trouve la valeur un peu plus forte 0,00000041644; c'est la quantité dont l'excentricité diminue maintenant chaque année. Si on multiplie cette quantité par 30 et qu'on retranche le produit de la valeur de l'excentricité pour 1810, on trouve qu'en 1840 l'excentricité n'est plus que de 0,0167780495.

la terre à un seul point de l'orbite solaire, la distance D' à un autre point quelconque sera donnée par la proportion (63) P' : P : : D : D', où P et P' représentent les diamètres apparents qui correspondent aux distances D et D'.

Nous avons donné (52) le moyen de tracer l'écliptique sur un globe représentant la sphère céleste, dont nous avons dit provisoirement qu'elle était un grand cercle. Or, il ne faut pas entendre par là que l'écliptique appartienne réellement à la sphère céleste, et soit aussi éloignée de nous que les étoiles, mais seulement qu'elles se trouvent dans un plan passant par le centre de la terre, et incliné de 23° 27′ 40″ sur l'équateur ; de sorte que le cercle tracé sur la sphère céleste est simplement l'intersection du plan de cette orbite avec la sphère céleste, ou l'ensemble de tous les points du ciel que le soleil nous cache successivement dans sa révolution annuelle.

65. La distance absolue du soleil à la terre se détermine aisément par la méthode des parallaxes (25). Supposons deux points O et O' (fig. 21) situés sur un même méridien et distants entre eux de 636 myriamètres, valeur du rayon de la terre. Imaginons qu'on mène au pôle de la sphère céleste les droites O P, O' P', qui seront sensiblement parallèles. Soit S la position du centre du soleil passant au méridien ; si l'on dirige à ce point les rayons O S, O' S, et qu'on mène le rayon O S' parallèle à O' S, l'angle O S O' sera celui sous lequel on verrait le rayon terrestre si l'on se transportait au centre du soleil, c'est-à-dire sera la parallaxe du soleil. Or, l'angle O S O' se détermine aisément, puisqu'il égale l'angle S O S' = S O P — S O' P', et que les angles S O P, S O' P' sont immédiatement donnés par l'observation; leur différence égale 8″,6. Mais il résulte d'expériences précises faites avec le *micro-*

mètre à double image et des tables construites d'après les résultats ainsi obtenus, qu'un objet qui sous-tend un angle de 1″ est à une distance égale à 206000 fois ses dimensions, que pour un angle de 2″ il est à une distance égale à 103000 fois ses dimensions, enfin que pour un angle de 8″, 6 il est à 23984 fois ses dimensions : par conséquent, la distance moyenne du soleil à la terre, qui correspond à un angle de 8″, 6 sous-tendu par le rayon terrestre moyen, ou 636 myriamètres $\frac{2}{3}$, égale 23984 fois ce rayon, c'est-à-dire 15269813 myriamètres et $\frac{2}{3}$, ou 15270000 myriamètres à 187 myriamètres près.

66. Le *micromètre à double image,* aussi nommé *lunette de Rochon,* qui l'inventa en 1777, est une lunette dont le tube gradué contient deux prismes en cristal de roche, égaux, rectangulaires et opposés, mobiles dans l'intérieur de la lunette, entre l'objectif et le foyer principal. Cette lunette, par suite du double pouvoir réfringent des prismes et de la manière dont ils ont été ajustés, donne deux images de l'objet sur lequel on la dirige, et l'on fait mouvoir les prismes pour amener les images exactement au contact. Le point du tube, vis-à-vis lequel les prismes se sont arrêtés, indique l'angle cherché, dont le chiffre de la graduation donne la valeur. A côté des chiffres de graduation on lit sur le tube une seconde série de nombres, obtenus en divisant l'unité par la tangente de l'angle correspondant. Ainsi, à côté de 1′, 2′, 3′, 4′,.... on voit les nombres 3 438, 1 719, 1 146,859,.... par lesquels il faut multiplier la grandeur réelle de l'objet pour avoir sa distance. Réciproquement, pour déterminer la grandeur d'un objet dont on connaît la distance, on met les deux images au contact, on prend sur le tube le nombre correspondant, et la distance divisée par ce nombre donne la grandeur de l'objet.

67. La parallaxe du soleil a été calculée en divers lieux

avec le plus grand soin, et déterminée par des moyens susceptibles d'une bien plus grande précision, fournis par l'observation des passages de Vénus sur le soleil (136). C'est en comparant tous ces résultats qu'on a fixé la *parallaxe horizontale* du soleil à 8″,5776 ou approximativement 8″,6. La parallaxe ordinaire du soleil, ou sa réduction au centre, est l'angle formé par les rayons visuels dirigés, du centre du soleil, au lieu de l'observation et au centre de la terre. Si, le lieu de l'observation ne changeant pas, le soleil vient au zénith, les deux rayons visuels se confondent avec le prolongement du rayon terrestre; alors la parallaxe devient nulle; elle augmente progressivement à mesure que le soleil s'éloigne du zénith, et atteint son *maximum* à l'horizon, où elle prend le nom de *parallaxe horizontale*. Alors le rayon visuel mené du soleil au lieu de l'observation devient perpendiculaire au rayon terrestre, qu'on voit par conséquent, du soleil, dans toute sa longueur, et non en raccourci par suite de son obliquité, comme dans les positions précédentes du soleil, le lieu de l'observation restant fixe. Dans le cas de la parallaxe horizontale, le triangle formé par le centre du soleil, le centre de la terre et le lieu de l'observation, devenant rectangle en ce lieu, donne (d'après ma Trigonométrie, sect. 2, prop. 1) la proportion suivante: 1 est au sinus de la parallaxe horizontale comme la distance du soleil à la terre est au rayon terrestre. Ainsi le rapport de la distance d'un astre à la longueur du rayon terrestre fait connaître sa parallaxe horizontale; et réciproquement, si l'on vient à déterminer par l'observation la parallaxe horizontale d'un astre, on en déduira sa distance exprimée en unités égales au rayon de la terre. Quant à la parallaxe ordinaire à une hauteur quelconque, il est facile de voir qu'elle est égale à la parallaxe horizontale multipliée par le sinus de la distance de l'astre au zénith. C'est la

parallaxe horizontale du soleil qu'on a déterminée ci-dessus, en prenant une base d'observations égale à 636 myriamètres, qui est la longueur du rayon terrestre. La parallaxe horizontale du soleil, ou d'un astre en général, est la moitié de l'angle sous lequel on verrait la terre, si l'on était transporté au centre du soleil ou de l'astre. Dans toutes les observations relatives à la parallaxe, il faut tenir compte de la réfraction, dont la valeur, en général, est bien plus considérable. Il est clair qu'il faut la retrancher, lorsqu'on observe la hauteur méridienne de l'astre, et l'ajouter, lorsqu'on observe sa distance au zénith. Ainsi *la distance réelle d'un astre au zénith est égale à la distance zénithale apparente, plus la réfraction, moins la parallaxe.* Les tables du soleil contiennent, pour toutes les hauteurs, la valeur de la réfraction diminuée de la parallaxe, afin de corriger à la fois les deux causes du déplacement apparent de l'astre.

68. Au reste, la parallaxe horizontale de 8″, 6 est relative à la distance moyenne du soleil; elle augmente au périgée et diminue à l'apogée. La différence correspond à une distance de 512 728 myriamètres, ou environ 500 000 myriamètres en nombre rond : c'est la différence dont le soleil est plus près de nous en hiver, au 21 décembre, qu'en été, au 21 juin. La grande différence de température qu'on éprouve dans ces deux saisons provient de l'extrême obliquité des rayons du soleil en hiver, et de l'inégalité de la durée des jours et des nuits (75).

Voici les dimensions de l'orbite solaire :

Dist. périgée . . .	$23\,581\ \frac{1}{5}$	rayons terrestres, ou	15 013 449 myr.
Dist. apogée. . . .	$24\,386\ \frac{2}{5}$	rayons terrestres, ou	15 526 177 myr.
Dist. moyenne. . .	23 984	rayons terrestres, ou	15 269 813 myr.
Grand axe de l'orbite.	47 968	rayons terrestres, ou	30 539 626 myr.
Excentricité . . .	$402\ \frac{2}{5}$	rayons terrestres, ou	256 364 myr.

L'excentricité égale à fort peu près $\frac{1}{119}$ du grand axe.

La distance moyenne du soleil, calculée plus exactement avec la parallaxe 8″,5776, égale 15 309 835 myr., en employant le rayon terrestre moyen, et 15 292 673 myriam., en employant le rayon terrestre perpendiculaire à l'écliptique. La moyenne est à fort peu près 15 500 000 myr., qu'on peut donc prendre pour la distance moyenne du soleil. (Voyez notre Complément, n° 116.)

Au reste, il ne faut pas croire qu'on puisse trouver rigoureusement la distance du soleil à la terre. Car on l'obtient au moyen de la parallaxe du soleil qui est un angle très-petit, et une erreur d'un dixième de seconde, la seule qu'on ait à craindre en opérant bien avec les instruments actuels, amène encore une inexactitude s'élevant à $\frac{1}{86}$ de la distance totale, ou 177 900 myriamètres.

On se forme aisément une idée de la grande distance du soleil, en remarquant qu'un boulet de 24, chassé par 8 kilogrammes de poudre, a une vitesse initiale de 840 mètres par seconde, ou 3 024 000 mètres par heure. Le boulet, en conservant cette vitesse, parcourrait donc 7 258 myriamètres par jour, et mettrait encore près de 6 ans pour arriver au soleil.

69. On détermine la grandeur du soleil au moyen de sa parallaxe et de son diamètre apparent. La parallaxe horizontale du soleil, à sa distance moyenne, est (67) de 8″,6, c'est-à-dire que le rayon de la terre vu du centre du soleil sous-tend alors cet angle de 8″,6, et par conséquent son diamètre sous-tend l'angle double 17″,2. Or, le diamètre du soleil sous-tend au périgée un angle de 32′ 35″,6, et à l'apogée un angle de 31′ 31″; il sous-tend donc, à la distance moyenne, un angle de 32′ 3″,3, ou 1 923″,3. Mais comme, à la même distance, les diamètres réels sont dans le rapport des diamètres apparents, il est clair que le diamètre du soleil est à celui de la terre comme 1 923″,3 est à 17″,2, ou à très-peu près comme

111,8 est à 1. Les volumes des deux globes devant être comme les cubes de ces nombres, c'est-à-dire comme $(111,8)^3$ est à 1, il en résulte que le soleil est 1 389 589 fois aussi gros que la terre, ou près de 1 400 000 fois.

XIV. — *Inégalité du mouvement angulaire du soleil. — Inégalité de la durée des saisons.*

70. Le mouvement angulaire apparent du soleil dans son orbite n'est pas uniforme. Si, au 1er janvier, l'on trace une droite sur un plan pour représenter celle menée de la terre au soleil, appelée *rayon vecteur*, et qu'observant sa position chaque jour avec l'instrument des passages, on rapporte sur le plan tous les rayons vecteurs, on voit que les angles mesurant les arcs décrits par le soleil dans des temps égaux ne sont pas égaux. Ainsi, pour 1840, le soleil décrit le 1er janvier, ou au périgée, un arc de 61′ 10″, 08 en 24 heures (temps moyen), et le 1er juillet, ou à l'apogée, il ne décrit plus dans le même temps qu'un arc de 57′ 11″, 76. Cette irrégularité de vitesse n'est pas une apparence due à des effets purement optiques, mais provient d'un ralentissement réel qui a lieu dans la marche du soleil à mesure qu'il s'éloigne de la terre. En effet, un même arc décrit par le soleil doit bien, ainsi que tout autre objet (65), paraître d'autant plus petit qu'il est plus éloigné du lieu d'où on l'observe. Mais si l'inégalité des arcs décrits, ou des vitesses apparentes, provenait uniquement de l'inégalité des distances, ces vitesses seraient proportionnelles aux diamètres apparents, qui sont 32′ 35″, 6 au périgée, et 31′ 31″ à l'apogée; de sorte qu'on devrait avoir la proportion 32′ 35″, 6 : 31′ 31″ : : 61′ 10″, 08 : 57′ 11″, 76. Or, il est évident que cette proportion n'a pas lieu, le quatrième terme étant trop faible de 2′ environ. Donc la *vitesse réelle* ou le mouvement réel du soleil n'est pas uniforme. On sait qu'on appelle en général *vitesse* l'espace parcouru

dans l'unité de temps qui est ici le jour solaire moyen.

La *vitesse moyenne* du soleil, qui est tantôt plus grande, tantôt plus petite que sa vitesse réelle, s'obtient en divisant les 360° de l'écliptique par 365j. 5h. 48′ 51″, longueur moyenne de l'*année* ou de la période de temps qu'il met à parcourir son orbite (89). Le calcul donne 59′ 8″, 33 pour la valeur de la vitesse moyenne du soleil ou de l'espace qu'il parcourt par jour, l'un dans l'autre.

71. Nous avons vu (64) que si l'on prenait pour unité la distance moyenne du soleil à la terre, les distances périgée et apogée, conclues de l'observation du plus grand et du plus petit diamètre apparent, avaient pour valeurs relatives 0,98321 et 1,01679. En prenant de même pour unité la vitesse moyenne du soleil, les valeurs relatives seront 1,03386 au périgée, et 0,96614 à l'apogée. On voit donc qu'il existe un rapport entre la loi de la variation de la vitesse et celle de la distance. Or, si l'on compare, d'un côté, les expressions numériques des vitesses à différentes époques par rapport à la vitesse moyenne prise pour unité, et, d'un autre côté, les distances correspondantes aux mêmes époques respectives prises aussi par rapport à l'unité de distance, on trouve que la variation de la vitesse angulaire a lieu dans un rapport plus que double de la variation de distance, et le calcul montre que le premier rapport est précisément l'inverse du second rapport multiplié par lui-même, c'est-à-dire de son carré, comme on peut le conclure des valeurs extrêmes citées tout à l'heure; ce qu'on énonce en disant que *les vitesses sont dans le rapport inverse du carré des distances*. Par conséquent, comme la vitesse se mesure par l'angle parcouru, si l'on représente par A, A′, les angles décrits dans des temps égaux en deux points quelconques de l'orbite, et par D, D′, les distances correspondantes, on aura $A : A' :: \frac{1}{D^2} : \frac{1}{D'^2}$. Faisant $A'=1$ et $D'=1$, il vient

$A = \frac{1}{D^2}$, ce qui montre que AD^2 égale une quantité constante. Ainsi le carré du rayon vecteur, multiplié par l'angle qu'il décrit en un jour, donne un produit constant pour tous les points de l'orbite. Or l'angle décrit A se mesurant par l'arc a correspondant, si l'on prend deux positions assez rapprochées du rayon vecteur R, pour que l'arc intercepté sur l'orbite se confonde avec un arc circulaire, la loi sera encore la même, et le secteur elliptique, devenant égal au secteur circulaire, aura pour mesure l'arc parcouru, multiplié par la moitié du rayon vecteur, c'est-à-dire $\frac{1}{2} D a$. Mais les arcs qui correspondent à un même angle au centre étant proportionnels aux rayons, si l'on appelle α l'arc correspondant au rayon 1, on aura $a : D :: \alpha : 1$, d'où $a = \alpha D$, par conséquent la surface du secteur décrit dans l'unité de temps égale $\frac{1}{2} D^2 . \alpha$. Cette mesure étant constante pour tous les points de l'orbite, il en résulte que le secteur, décrit dans un nombre quelconque n d'unités de temps, aura pour mesure n fois cette valeur, ce qui conduit à cette grande loi générale, que *les surfaces* ou *aires décrites en temps égaux seront égales, et que les aires décrites dans des temps inégaux seront proportionnelles aux temps.*

C'est la seconde des lois de Képler; nous y reviendrons plus tard (148-151).

72. L'année se subdivise en quatre parties principales nommées *saisons*, qui, dans l'ordre du calendrier, sont l'*hiver*, le *printemps*, l'*été*, l'*automne*, et correspondent respectivement au temps que le soleil emploie pour parcourir, 1° le quart de l'écliptique compris entre le premier point du *Capricorne* ou le *solstice d'hiver* et le premier point du *Bélier* ou l'*équinoxe du printemps;* 2° le quart compris entre ce dernier point et le premier point du *Cancer* ou le *solstice d'été;* 3° le quart compris entre ce dernier point et le premier point de la *Balance*

ou l'*équinoxe d'automne;* 4° le quart compris entre ce dernier point et le *solstice d'hiver.*

Les quatre saisons n'ont pas une égale durée. Leur inégalité provient des variations qui surviennent dans la vitesse et dans la distance du soleil. C'est en effet l'entrée du soleil dans les différents signes qui détermine les saisons, et son entrée dans chaque signe dépend évidemment de sa vitesse et de sa position sur l'écliptique au moment où il s'approche du signe. Pour notre hémisphère, c'est l'été qui est la saison la plus longue, et l'hiver la plus courte.

Voici, pour 1840, l'époque de l'entrée du soleil dans chaque signe, et le temps qu'il doit mettre à le parcourir, exprimé en temps moyen au méridien de Paris.

SIGNES.	ANNÉE.	MOIS.	ENTRÉE DU SOLEIL.				DURÉE du séjour du soleil.		
Capricorne.	1839	décemb.	22 à	11h.	32'	du mat.	29j.	10h.	36'
Verseau.	1840	janvier.	20	10	8	soir.	29	14	42
Poissons.	*id.*	février.	19	0	50	soir.	30	0	0
Bélier.	*id.*	mars.	20	0	50	soir.	31	12	15
Taureau.	*id.*	avril.	21	1	5	mat.	30	0	14
Gémeaux.	*id.*	mai.	21	1	19	mat.	31	8	38
Cancer.	*id.*	juin.	21	9	57	mat.	31	10	58
Lion.	*id.*	juillet.	22	8	55	soir.	31	6	31
Vierge.	*id.*	août.	23	3	56	mat.	30	20	36
Balance.	*id.*	septemb.	23	0	2	mat.	30	8	9
Scorpion.	*id.*	octobre.	23	8	11	mat.	29	10	30
Sagittaire.	*id.*	novemb.	22	4	41	mat.	29	22	42
Capricorne.	*id.*	décemb.	21	5	23	soir.			

D'après ce tableau, on a pour la durée de chaque saison, en négligeant les secondes,

Hiver,	89 j.	1 h.	18′
Printemps,	92	21	7
Été,	93	14	5
Automne,	89	17	21
Année 1840,	365 j.	5 h.	51′

On voit que cette année le soleil doit rester 186j. 11h. 12′ dans l'hémisphère boréal, et 178 j. 18h. 39′ dans l'hémisphère austral, ce qui fait une différence de 7 j. 10h. 33′ en faveur du boréal.

73. Le soleil est plus près de nous l'hiver que l'été, et la différence de distance est de 500000 myriamètres. Mais il fait bien plus froid l'hiver, par suite de trois causes distinctes qui concourent au même but; la principale cause est due à la longueur des nuits d'hiver qui durent environ 16 heures sur 24. Le soleil, n'étant alors que 8 heures au-dessus de l'horizon, ne lui envoie de la chaleur que pendant ce temps; au lieu que, l'été, l'horizon recevant pendant 16 heures la chaleur du soleil, doit en éprouver une bien plus grande élévation de température *. L'autre cause est due à l'obliquité des rayons du soleil, bien plus grande en hiver qu'en été. Pendant l'hiver, le soleil s'élevant peu au-dessus de l'horizon, ses rayons y tombent très-obliquement, tandis que l'été, ils y arrivent presque perpendiculairement. Or la quantité de chaleur absorbée par un corps diminue à mesure que les rayons deviennent plus obliques. En outre, cet effet s'augmentant par la dureté ou presque le poli que la terre acquiert l'hiver, étant contractée par le froid, ce qui lui fait réfléchir un bien

* Voyez, pour plus de développements, notre Complément du Cours de Cosmographie, nº 56.

plus grand nombre de rayons, il en résulte que la terre doit bien moins s'échauffer l'hiver que l'été, où la terre ramollie absorbe aisément les rayons du soleil devenus presque perpendiculaires. La troisième cause est due à la grande déperdition de chaleur qu'éprouvent l'hiver les rayons en traversant une bien plus grande épaisseur de l'atmosphère et des couches beaucoup plus denses, à cause de leur direction oblique, tandis que l'été, par la raison contraire, ils arrivent à la terre avec presque toute leur force.

74. L'hémisphère austral est bien plus froid, à latitude égale, que l'hémisphère boréal, ce qui provient de la différence de conformation des deux hémisphères. L'austral contient une bien plus grande étendue de mer que le boréal; par conséquent les glaces qui s'y forment l'hiver, étant en bien plus grande quantité que dans le second, absorbent, en se fondant, une énorme quantité de chaleur à l'état de *calorique latent*. Ceci se prouve directement par une expérience fort simple, qui consiste à mêler un kilogramme de glace à 0 degré et un kilogramme d'eau à 60°; le mélange donne deux kilogrammes d'eau, non pas à 30° comme on pourrait le croire au premier abord, mais à 0 degré. L'eau, pour passer de l'état solide à l'état liquide, absorbe toute la chaleur, qui, n'étant plus indiquée par le thermomètre, prend pour cela le nom de *calorique latent*. On trouve de même qu'un kilogramme de vapeur contient 600° de calorique latent. Lors donc que la glace se fond dans l'hémisphère austral, l'eau qui en résulte absorbe une grande quantité de chaleur pour passer à l'état de vapeur, ce qui abaisse considérablement la température. En outre, le soleil reste sept à huit jours de moins dans l'hémisphère austral que dans le boréal, ce qui contribue encore à augmenter leur différence de température.

75. La température n'est pas égale non plus pour tous les lieux d'un même hémisphère situés à la même latitude. Les côtes orientales de l'Asie et de l'Amérique sont bien plus froides que les régions de l'Europe, surtout occidentales, situées sur le même parallèle. Ainsi Quebec est bien plus froide que Nantes. Cette différence est causée par le vent d'ouest, à peu près constant entre notre tropique et le cercle polaire. La mer étant plus chaude que la terre en hiver et plus froide en été, le vent d'ouest qui arrive en Europe après avoir traversé une grande étendue de mer, y élève la température en hiver et l'abaisse en été. Le même vent, au contraire, atteignant les côtes orientales de l'Amérique et aussi de l'Asie après avoir traversé une grande étendue de terre, y abaisse la température en hiver et l'élève en été.

Le vent d'est règne constamment entre les tropiques et y produit des phénomènes analogues sur les côtes occidentales. Au reste, deux villes peuvent avoir des températures très-diverses, et une même température moyenne. Celle-ci s'obtient par des procédés particuliers exposés dans notre Complément du Cours de Cosmographie, n°s 59 et 60.

76. Il est intéressant de savoir si, depuis les temps les plus reculés, la température du soleil a changé. Les phénomènes météorologiques ne peuvent le constater, parce que les anciens, qui faisaient beaucoup de théories, observaient peu, et ne nous ont transmis aucun renseignement à cet égard. La question serait résolue, si l'on pouvait trouver un pays, qui, depuis les époques les plus reculées, n'ait pas changé de température. Or ce pays existe; c'est la Palestine. On peut prouver, d'après les phénomènes de sa végétation, qu'elle a conservé jusqu'ici la même température qu'elle avait il y a trois mille ans. En effet, la température offre une limite en moins,

sans laquelle la datte ne mûrit pas, et une limite en plus, au delà de laquelle la vigne ne donne plus de vin. La datte ne mûrit pas en Sicile, soit à Palerme, soit à Catane, où la température moyenne est de 17° et 19°. A Bone et à Alger, où elle est de 21°, la datte mûrit, mais n'est pas très-bonne. Pour l'avoir parfaitement mûre, il faut encore descendre vers l'équateur jusqu'aux régions où la température moyenne est de 21°, 5. Or, les Juifs cultivaient la datte qui était figurée sur la monnaie des Hébreux et dont leurs livres parlent en divers endroits. D'ailleurs Jéricho s'appelait la *ville des palmiers*. Par conséquent, 21°, 5 est le *minimum* de température qu'avait la Palestine à l'époque où l'on y cultivait la datte. La vigne, d'un autre côté, ne donne pas de vin dans les pays très-chauds, parce qu'elle ne mûrit pas ses grains en même temps. J'ai même remarqué, dans mon jardin à Bone en Afrique, que ma vigne offrait à la fois des fleurs, des grains verts de toutes les grosseurs, et des grains noirs d'une maturité parfaite, ce qui fait qu'on a du raisin bon à manger pendant presque la moitié de l'année ; mais il y a assez de grappes mûres à la fois pour qu'il soit encore possible de faire du vin. Or les îles Canaries et le Caire, qui ont une température moyenne de 22°, sont les limites au delà desquelles la vigne n'offre pas assez de grappes mûres à la fois, ou assez de grains mûrs dans une même grappe, pour donner du vin. Jérusalem, qui est située à un demi-degré de latitude au nord du Caire, a donc environ une température de 21° $\frac{1}{2}$. Mais la vigne y donnait du vin il y a trois mille ans, comme le prouvent un grand nombre de passages des Écritures, ainsi que la fête des Tabernacles instituée pour les vendanges. Ainsi la température moyenne de Jérusalem était de 21° $\frac{1}{2}$ il y a trois mille ans, comme elle est encore actuellement; donc elle n'a pas changé. Par consé-

quent, ce pays n'ayant pas été travaillé par la main des hommes, de manière à offrir des changements notables à sa surface, on est en droit d'en conclure que la température n'a pas changé pour les diverses régions de la terre, et qu'ainsi la chaleur du soleil a conservé, depuis lors, la même intensité. Au reste, le fait est incontestable, et le mouvement de la lune (109) en donne une preuve mathématique.

77. Terminons ce paragraphe par l'exposé succinct de ce que l'on sait sur la constitution physique du soleil. Cet astre nous présente un disque arrondi; mais comme tous les corps globuleux, vus de très-loin, nous offrent la même apparence, on ne pourrait pas en conclure à la vue simple s'il est réellement plat ou arrondi. Or, à l'aide d'un bon télescope garni de verres colorés, on aperçoit souvent à sa surface de larges taches noires environnées d'une partie moins sombre appelée improprement *pénombre*. Un examen attentif montre que les taches, observées d'abord au centre du disque, s'en éloignent peu à peu pour disparaître par l'un des bords, et reparaissent ensuite au bout d'un certain temps par le bord opposé; d'où il résulte que le soleil a un mouvement de rotation sur lui-même, et que par conséquent c'est un corps arrondi, car ceux-là seulement peuvent offrir toujours l'apparence d'un cercle en se présentant sous toutes les faces. Si l'on note l'instant où une tache vient à paraître au bord occidental du soleil, on trouve qu'elle reste visible pendant 13 jours et demi consécutifs; alors elle disparaît par le bord oriental, et reste également cachée pendant 13 jours et demi, au bout desquels on la voit reparaître au bord occidental. D'après cela, le soleil emploierait 27 jours à tourner sur lui-même de l'occident à l'orient; mais comme il faut en ôter environ deux jours dus à son mouvement propre, il ne met réellement que

25 jours à faire sa rotation. L'équateur solaire, ou le plan diamétral perpendiculaire à son axe de rotation, fait un angle de 7° $\frac{1}{3}$ avec l'écliptique.

Les taches du soleil ne se montrent que dans le voisinage de son équateur et y forment une zone large d'environ 68°. Ces taches sous-tendent ordinairement des angles plus grands que 17″, et comme, à la distance du soleil, 1″ correspond à une largeur de 75 myriamètres, il faut que leur diamètre soit plus grand que celui de la terre. Mayer même en observa qui devaient avoir 7000 myriamètres de diamètre.

78. En examinant une tache située au centre, on trouve en général que la pénombre est égale des deux côtés; à mesure qu'elle approche du bord, la partie de la pénombre située de ce côté augmente progressivement en largeur, tandis que celle située vers le centre devient de plus en plus étroite, et disparaît quand l'autre atteint son *maximum*, d'où il suit que les taches ont la forme de cavités profondes et non de montagnes. Ce phénomène a conduit Herschel à penser que le corps du soleil était un noyau solide et obscur, environné à une grande distance d'une atmosphère lumineuse, soutenue par une atmosphère obscure intermédiaire. D'après cette opinion généralement adoptée aujourd'hui, les taches s'expliquent très-bien par les bouleversements plus ou moins grands que ces deux atmosphàres peuvent éprouver. Souvent, en outre, ces taches semblent s'élargir ou se resserrer d'un jour à l'autre, ou plus rapidement, et même disparaître pour se reformer en d'autres points, ce qui s'accorde parfaitement avec l'opinion d'Herschel, quelque compliquée qu'elle paraisse au premier abord.

79. Au reste, M. Arago a prouvé par des expériences directes, et à l'abri de toute objection, que la portion extérieure du soleil ne pouvait être, ni solide, ni liquide,

mais seulement gazeuse ou atmosphérique. Il a déduit cette preuve des phénomènes de coloration qu'offre la lumière polarisée. Comme cet exposé nous mènerait ici trop loin, nous renvoyons à notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 67 à 73, comprenant l'explication complète de ces phénomènes et des preuves qui en résultent. Nous donnons aussi, n° 76, la preuve la plus convaincante que la lumière du soleil a partout la même intensité, soit au bord, soit au centre du disque. M. Arago a également déduit cette preuve des phénomènes de la polarisation, ce qui détruit l'hypothèse de Bouguer que le soleil était entouré d'une atmosphère analogue à la nôtre, et par suite affaiblissant davantage les rayons émanés des bords que ceux émanés du centre.

80. Il est cependant probable que le soleil est entouré d'une atmosphère d'une ténuité extrême. On a été conduit à cette supposition par le phénomène connu sous le nom de *lumière zodiacale*, et qui se montre par un beau temps aussitôt après le coucher du soleil vers l'équinoxe du printemps, ou avant son lever à l'équinoxe d'automne. Cette lumière, qui est faible et d'une couleur pâle, a la forme d'une lentille ou d'un fuseau, dont la base, large de 8° à 30°, est appuyée sur l'équateur solaire, et dont le sommet est à une distance angulaire du soleil qui varie entre 40° et 90°. Cette lumière, qui existe toujours, ne devient visible qu'aux équinoxes; elle n'est pas nette dans nos climats, mais elle est très-visible entre les tropiques.

81. D'après les expériences photométriques de Leslie, on a calculé que 3 centimètres de la substance du soleil, transportés à la surface de la terre, éclaireraient autant que 12000 bougies; et il résulte de la loi de décroissement du calorique rayonnant, que la terre transportée au soleil en recevrait une chaleur 300 000 fois plus forte que celle actuellement reçue.

XV. — *Longitudes et latitudes des astres. — Précession des équinoxes.*

82. On peut regarder la position de l'écliptique comme invariable par rapport aux étoiles, quoique le fait ne soit pas rigoureusement vrai. En comparant sa position actuelle avec celle déduite des anciennes observations, on trouve de légères variations qui s'accordent avec la théorie, comme nous l'expliquerons plus tard (197). Le plan de l'écliptique oscille de chaque côté de l'équateur dont il s'approche maintenant, mais sans pouvoir jamais s'en rapprocher à une distance angulaire moindre que 5°, après quoi il s'en éloignera de nouveau. Au reste, ces variations ont besoin pour être sensibles d'une si longue suite d'années, qu'on peut regarder l'écliptique comme ayant une position fixe sur le ciel étoilé. Par conséquent, on peut lui rapporter les étoiles aussi bien qu'à l'équateur, au moyen des cercles appelés *cercles de latitude*, et menés perpendiculairement à l'écliptique en passant par ses pôles. La *latitude* d'une étoile est sa distance à l'écliptique, mesurée sur son cercle de latitude; et sa *longitude* est l'arc même de l'écliptique compris entre l'équinoxe du printemps, pris pour origine, et l'intersection des deux cercles. On voit que l'écliptique, invariable par rapport aux étoiles, joue ici le même rôle que l'équateur par rapport aux points de la surface de la terre; et voilà pourquoi l'on emploie des deux côtés les mêmes dénominations de *longitudes* et de *latitudes*, qui cependant ne correspondent pas les unes aux autres.

83. Il est facile, comme nous l'avons vu (15 et 16), de trouver les déclinaisons et les ascensions droites des étoiles; on en déduit géométriquement leurs longitudes et leurs latitudes qu'il serait très-difficile de déterminer directement.

Soient (fig. 22) EQ l'équateur, E'C l'écliptique, P, p, les pôles du monde, P', p', ceux de l'écliptique, A l'équinoxe d'automne, V celui du printemps, qui, ayant tous ses points à 90° du cercle des solstices E P' P Q, en est ainsi le pôle. Soit S une étoile, SD sa déclinaison, VD son ascension droite, SL sa latitude, VL sa longitude. L'arc P'S étant le complément de la latitude SL, il suffit de déterminer P'S. Or dans le triangle PP'S, on connaît le côté P P' égal à l'obliquité de l'écliptique, le côté PS complément de la déclinaison SD, et l'angle compris P'P S ou EPD mesuré par l'arc ED = EV + VD = 90° + l'ascension droite qui est donnée. On peut donc calculer P' S et en déduire la latitude SL.

Quant à la longitude VL qui mesure l'angle VP'L, on l'obtient aisément en retranchant l'arc CL qui mesure l'angle P P'S de l'arc CV = 90° *.

Le soleil ayant toujours une latitude nulle, sa position sur le ciel étoilé se trouve déterminée dès que l'on connaît sa longitude. Elle se compte, comme l'ascension droite, de 0° à 360°, dans le sens propre du mouvement du soleil, ou d'occident en orient; mais au lieu de l'exprimer en degrés, on emploie un certain nombre de signes qui est toujours moindre que 12, et on ajoute le nombre excédant de degrés, qui est toujours moindre que 30. Si, par exemple, la longitude du soleil est de 285° 35', on dira qu'elle est de 9 signes plus 15° 35', ce qui s'écrit 9^s 15° 35'. La longitude et l'ascension droite du soleil se confondent aux équinoxes et aux solstices, et dans le reste

* Soit a l'ascension droite d'un astre, d sa déclinaison, L sa longitude, l sa latitude, e l'obliquité de l'écliptique. La longitude et la latitude se déterminent par ces formules :

$$\text{Tang } L = \cos e \text{ tang } a + \frac{\sin e \text{ tang } d}{\cos a}$$

$$\text{Sin } l = \cos e \sin d - \sin e \cos d \sin a.$$

de l'écliptique leur différence n'excède jamais 2° 28' *.

84. Nous avons vu (55) comment on déterminait, sur l'équateur, la position de l'équinoxe du printemps ou du point V ou ♈, qui, étant l'origine ou le zéro des ascensions droites et par suite des longitudes, jouit de la plus haute importance. Or si l'on suppose qu'on marque par une entaille ce point sur l'équateur, en le déterminant de la même manière à des époques très-éloignées, on reconnaît qu'il ne garde pas une position invariable par rapport aux étoiles, et se déplace au contraire par un mouvement très-lent, mais régulier et non interrompu, dirigé de l'est à l'ouest, c'est-à-dire en sens contraire du mouvement propre du soleil. Ainsi l'équinoxe, se déplaçant sur l'écliptique qui est peu incliné sur l'équateur, avance sur les étoiles considérées sous le point de vue de leur mouvement diurne parallèle à l'équateur; de là vient le nom de *précession des équinoxes* donné à l'important phénomène, par suite duquel chaque position actuelle de l'équinoxe *précède* la position antérieure relativement au mouvement diurne des étoiles. La valeur angulaire de ce déplacement ne s'élève qu'à 50",10, par an; mais comme elle a toujours lieu dans le même sens, et s'accumule d'année en année, elle finit par altérer sensiblement l'exactitude des catalogues d'étoiles, et oblige d'en refaire d'autres. L'équinoxe met 25 868 ans à faire un tour entier de l'écliptique, ou plus exactement 25868, 16.

L'effet de la précession des équinoxes, ou, ce qui revient au même, de leur rétrogradation sur l'écliptique, est d'augmenter la longitude de tous les corps célestes,

* Soit A l'ascension droite du soleil, D sa déclinaison, L sa longitude, e l'obliquité de l'écliptique, on détermine L par l'une ou par l'autre des deux formules :

$$\text{Tang } L = \frac{\text{tang } A}{\cos e}, \quad \sin L = \frac{\sin D}{\sin e}.$$

et par conséquent de produire l'apparence d'un mouvement très-lent imprimé à toute la sphère étoilée, qui mettrait 25 868 ans à exécuter une révolution complète autour de la ligne des pôles de l'écliptique, absolument de la même manière qu'elle emploie 24 heures à faire une révolution complète autour de la ligne des pôles de l'équateur. D'après cela, on voit qu'il s'en faut de 50″, 10 que l'écliptique soit une véritable ellipse plane et fermée. On peut néanmoins la regarder comme une courbe plane dont le plan éprouve un très-léger changement de position à la fin de chaque révolution, tout en conservant son inclinaison constante sur l'équateur.

85. L'orbite solaire offre encore une autre irrégularité. Elle consiste en ce que le grand axe, ou la ligne des apsides, n'est pas fixe par rapport à la ligne des équinoxes, mais avance annuellement de 62″ dans le sens des signes, ou d'occident en orient; et par suite on dit que le mouvement du périgée est *direct*. On obtient donc aisément la longitude du périgée à une époque quelconque, dès qu'on la connaît à une certaine époque, par exemple, au 1er janvier 1840 à minuit, où elle égale $9^s\ 10^0\ 10'\ 19''$. A la même époque, la longitude moyenne du périgée, ou ce qu'on appelle proprement l'*époque* en astronomie, est $9^{s.}\ 9^o 42'\ 42'',5$, ce qui donne $27'\ 36'',7$ de différence.

La ligne des apsides se confondait en 1250 avec la ligne des solstices, le périgée se trouvant alors au solstice d'hiver, et l'apogée au solstice d'été. D'après le mouvement du périgée, on a calculé que la ligne des apsides devait coïncider avec la ligne des équinoxes environ 4000 ans avant l'ère chrétienne; et comme la ligne des apsides partage toujours l'écliptique en deux parties symétriques parcourues par le soleil en des temps égaux, cet astre restait alors exactement la moitié de l'année dans chaque hémisphère. Actuellement la durée de son

séjour dans l'hémisphère boréal, ou notre semestre d'été, tend à augmenter.

XVI. — *Inégalité des jours solaires. — Temps vrai. — Temps moyen. — Année sidérale. — Année équinoxiale. — Cadran solaire.*

86. Nous avons vu (51 et 70) que le mouvement du soleil autour de la terre n'était pas uniforme, et que sa vitesse au périgée était plus considérable qu'à l'apogée. Sa vitesse moyenne s'obtient en divisant les 360 degrés de l'écliptique par les $365^{j.},2422$, ou à peu près $365^{j.}\frac{1}{4}$ qu'il met à les parcourir. Comme la vitesse *maximum* ou *minimum* diffère peu de la vitesse moyenne, on peut la supposer régulière; et concevoir un soleil fictif décrivant uniformément l'écliptique, animé de cette vitesse moyenne. Supposons le vrai soleil et le soleil fictif partant ensemble du périgée. Le vrai soleil animé d'une vitesse plus grande devancera d'abord le soleil fictif, et tous deux décriront des aires proportionnelles aux temps, celui-ci avec une vitesse uniforme, l'autre avec une vitesse variant en même temps que son rayon vecteur. A mesure que les deux soleils s'éloignent du périgée, le mouvement du vrai soleil se ralentit progressivement jusqu'à ce que sa marche soit la même que celle du soleil fictif. Au delà de ce point le soleil fictif se rapproche de plus en plus du véritable qu'il atteint à l'apogée. Les phénomènes exactement inverses ont lieu dans le retour vers le périgée. Le soleil fictif devance d'abord le véritable, jusqu'à ce que leur vitesse devienne la même, puis le vrai soleil se rapproche progressivement de l'autre qu'il atteint au périgée. On voit, d'après ce qui précède, que l'angle compris entre les deux rayons vecteurs, menés au même instant de la terre aux deux soleils, est ce qu'il faut ajouter au mouvement moyen, ou en retrancher,

pour avoir le mouvement véritable. Cet angle, qui est nul au périgée ainsi qu'à l'apogée, atteint, dans l'intervalle de ces deux positions, son *maximum* qui est de 1° 55′ 33″,3, soit qu'on doive l'ajouter ou le retrancher pour avoir l'angle vrai. On le nomme *équation du centre*, parce qu'en astronomie on appelle en général *équation* la quantité qu'il faut ajouter à une valeur moyenne, ou en retrancher, pour avoir la véritable.

Les tables astronomiques sont sur deux colonnes. La première est formée des valeurs moyennes, la seconde contient les équations du centre ou les corrections qu'il faut faire jour par jour.

On appelle *anomalie* l'angle formé par le rayon vecteur mené du centre de la terre à un astre avec la distance périgée de cet astre ; ainsi nos deux soleils nous donnent l'*anomalie moyenne* et l'*anomalie vraie*.

87. Nous avons vu (12) qu'on appelle *jour sidéral* l'intervalle de temps qui sépare deux passages consécutifs d'une étoile au méridien, et qui est constant par toute la terre ; le temps qui sépare de même deux passages consécutifs du soleil au méridien se nomme *jour solaire*, et dépasse le jour sidéral d'une quantité variable égale à 4′ environ (51). Cette quantité, qui est mesurée par l'arc de l'équateur intercepté par les deux plans horaires du soleil correspondants au passage d'une même étoile au méridien, varie tous les jours, d'abord à cause de l'inégalité du mouvement propre du soleil, comme nous venons de le voir, et en outre à cause de l'obliquité de l'écliptique. Ainsi les jours solaires varieraient encore, lors même que le soleil parcourrait l'écliptique d'un mouvement uniforme, en y décrivant chaque jour des arcs égaux. Car l'ascension droite d'un objet céleste étant l'un des côtés d'un triangle sphérique rectangle dont la longitude est l'hypoténuse, il est évident que si l'une croît

d'une manière uniforme, l'autre ne peut croître de même. D'ailleurs cela se conçoit très-clairement d'après la figure 23 où l'arc E C *e* représente la moitié de l'écliptique. Les arcs égaux E*s*, *s s'*, *s' s''*,....., décrits par le soleil sur l'écliptique, prenant successivement des inclinaisons différentes par rapport à l'équateur E Q *e*, s'y projetteront au moyen des méridiens extrêmes suivant des arcs inégaux, et qui seront bien plus grands aux solstices qu'aux équinoxes, les arcs de l'écliptique étant parallèles à l'équateur dans le premier cas, et inclinés sur lui de 23° dans le second. Or les arcs de l'équateur interceptés entre les méridiens extrêmes, pris deux à deux, mesurent les retards successifs du soleil, qui sont par conséquent inégaux.

Il résulte de là que, pour rendre les jours solaires égaux, il faudrait détruire les deux causes distinctes qui les altèrent, c'est-à-dire l'inégalité du mouvement propre du soleil et l'obliquité de l'écliptique. Il faudrait donc que le mouvement du soleil devînt uniforme, et que le plan de l'écliptique coïncidât avec l'équateur.

88. Concevons donc un troisième soleil fictif décrivant l'équateur même avec la vitesse moyenne. Ce soleil, débarrassé, dans sa marche, des deux inégalités signalées plus haut, indiquera le *temps moyen* des astronomes. On appelle donc *jour moyen* l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs de ce troisième soleil au méridien. Chaque passage supérieur donne le *midi moyen*, et l'inférieur correspondant le *minuit moyen*. Le *temps vrai* est celui réellement indiqué par le soleil dont les passages au méridien donnent de même le *jour vrai*, le *midi vrai* et le *minuit vrai*. La différence du midi vrai au midi moyen se nomme l'*équation du temps ;* elle est indiquée sous ce nom dans les tables astronomiques pour chaque jour de l'année. Ainsi, quoique les jours solaires soient

tous partagés en 24 heures, ils ne sont pas égaux entre eux, et les heures sont inégales. Les pendules réglées sur le temps moyen ne sont donc pas d'accord avec la marche réelle du soleil ; et si l'on imagine deux pendules, l'une marquant le temps vrai, l'autre le temps moyen, elles seront presque toujours en avance l'une sur l'autre. L'étendue de cette oscillation surpasse une demi-heure, le midi vrai arrivant quelquefois près de 16m. ½ *avant* le midi moyen, et d'autres fois plus de 14m. ½ *après*. La pendule qui marque le temps moyen se trouve quatre fois par an d'accord avec celle qui marque le temps vrai. Ainsi la première, étant d'accord avec le soleil le 24 décembre, avance ensuite sur lui de plus en plus, et atteint, le 11 février, le *maximum* de différence qui est 14′ 35″. De là elle se rapproche du temps vrai, tout en conservant l'avance, et se trouve pour la première fois de l'année d'accord avec le soleil le 15 avril. La pendule retarde ensuite sur lui et atteint, le 15 mai, le *maximum* de retard qui est de 3′ 56″; puis elle se rapproche du temps vrai, avec lequel elle s'accorde pour la seconde fois le 15 juin. La pendule avance ensuite sur le soleil, atteint, le 27 juillet, le *maximum* de différence qui est de 6′ 8″; alors elle se rapproche du temps vrai, et s'accorde pour la troisième fois avec lui le 1er septembre. Enfin elle retarde jusqu'à un *maximum* de 16′ 17″, qui a lieu le 3 novembre, et revient s'accorder pour la quatrième fois le 24 décembre. Alors la même période de phénomènes recommence. On a construit des pendules qui, marquant à la fois le temps vrai et le temps moyen, s'appellent *pendules à équations*.

Comme le soleil est facile à observer, c'est lui qu'on prend par toute la terre pour régler les travaux, et l'on suit à cet effet l'heure indiquée par les cadrans solaires.

Au reste, il n'existe qu'une très-petite inégalité entre

les jours solaires. Car il n'y a qu'une demi-minute de différence entre le plus long jour solaire et le jour moyen, qui lui-même ne surpasse pas même d'une demi-minute le jour solaire le plus court; de sorte que la différence du plus long jour solaire au plus court ne s'élève pas à une minute. En 1840, le plus long jour solaire, qui est égal à 24 h. 4′ 25″,2 en temps sidéral, a eu lieu le 1er janvier ; le plus court aura lieu le 15 septembre, et sera de 24 h. 3′ 35″ 40, ce qui donne 49″,72 de différence.

89. On appelle en général *année* la période de temps que le soleil, partant d'un certain point de l'écliptique, emploie pour revenir au même point. Cette période se nomme plus particulièrement *année tropique* ou *année équinoxiale*, selon qu'on prend, pour point de départ du soleil, le solstice d'hiver ou l'équinoxe du printemps. On obtient la longueur de l'année tropique vraie, pour une certaine année, en faisant la somme des temps que le soleil emploie pour parcourir les signes à partir de son entrée dans le Capricorne. Ainsi, en 1840, l'année tropique vraie (72), exprimée en temps moyen, est de 365 j. 5 h. 51′ en négligeant les secondes. Comme cette période n'est pas tout à fait la même chaque année (par suite des perturbations de la terre par les planètes), on a cherché à déterminer sa *longueur m yenne* avec une grande précision, afin d'avoir un intervalle de temps invariable et propre à servir d'unité dans la mesure du temps ; cette longueur moyenne égale 365 j. 5 h. 48′ 51″,6, ou 365 j., 242264 temps moyen. Dans le langage ordinaire on confond l'année tropique avec l'année équinoxiale commençant à l'équinoxe du printemps, et sa valeur est à fort peu près la même, étant de 365 j. 5 h 48′ pour 1840, en négligeant les secondes. Mais notre calendrier étant solsticial et non équinoxial, nous devons de préférence compter d'un solstice d'hiver au suivant, c'est-à-dire

employer l'année tropique proprement dite, comprenant toute notre *année civile* à dix jours près.

On nomme *année sidérale* la période de temps que le soleil, partant d'un certain point du ciel, met à revenir au cercle horaire passant par le même point. Comme les points équinoxiaux ont un mouvement rétrograde de 50″, 1 par an, il en résulte que le soleil doit revenir plus tôt au même point équinoxial qu'à une même étoile, et qu'à la fin de l'année tropique il a encore 50″, 1 d'ascension droite à parcourir pour revenir au cercle horaire de départ. Le temps nécessaire au soleil pour parcourir 50″, 1 de l'écliptique, avec son mouvement moyen de 59′ 8″, 33 en 24 h., s'obtient aisément par la proportion 59′ 8″, 33 ou 3 548″, 33 : 86400″ : : 50″,1 : $x = 20'19'',9$.

L'année sidérale surpasse donc l'année tropique de 20′19″,9, et par conséquent elle est de 365 j. 6 h. 9′ 11″,5 ou 365 j., 256384 en temps moyen.

Enfin, on distingue une troisième sorte d'année, dite *année anomalistique*, et qui est de 365 j. 6 h. 13′ 58″,8. C'est la période de temps que le soleil, partant du périgée ou de l'apogée, emploie pour revenir au point de départ. Cette année est un peu plus longue que l'année tropique, à cause du mouvement de la ligne des apsides dans le sens des signes (85), et même plus longue que l'année sidérale, parce que la ligne des apsides avance plus dans le sens des signes que la ligne des équinoxes ne recule.

L'année sidérale et l'année anomalistique ne servent qu'en astronomie ; mais l'année tropique intéresse toute la société, parce qu'elle règle le retour des saisons.

Nous avons vu (51, 87) que le jour solaire surpassait le jour sidéral d'une quantité variable à peu près égale à 3′ 55″,91. Cette quantité s'accumule tous les jours, de sorte que si le soleil et une étoile passent en même temps au méridien à une certaine époque, au bout d'un

an, ou après une révolution entière de l'écliptique, l'étoile reviendra en même temps que le soleil au méridien, mais y aura passé une fois de plus que lui ; ou, en d'autres termes, le soleil aura rétrogradé sur les étoiles de toute une circonférence de cercle.

Si l'on calcule avec une grande précision le rapport du jour solaire au jour sidéral, on trouve les résultats suivants :

$1^{\text{j. sol. moy.}}, = 1^{\text{j. sid.}},002737909722 = 24^{\text{h.}}\,3'56'',55348$ en temps sidéral, ou bien $86400''$ de temps moyen $= 86636'',55348$ de temps sidéral ; réciproquement $1^{\text{j. sid.}} = 0^{\text{j. sol. m.}},997269672 = 0^{\text{j.}}\,23^{\text{h.}}\,56'\,4'',09$ en temps moyen. D'après cela, l'année tropique moyenne, exprimée en temps sidéral, vaut $366^{\text{j.}}\,6^{\text{h.}}\,2'\,13'',199384$ ou $366^{\text{j.}},251393$.

90. L'heure vraie ou solaire est indiquée par le *cadran solaire,* qui n'est autre chose qu'une machine contenant un style parallèle à l'axe du monde, plus les intersections de la surface du cadran avec les plans horaires du soleil passant par le style et distants entre eux d'une quantité angulaire égale à 15 degrés, qui correspond à une heure de temps. La construction du cadran solaire étant très-détaillée dans notre Géométrie (4e édit.), où elle forme l'application XIV, et dans notre Traité d'Astronomie, nos 323 à 331, nous nous bornerons à indiquer celle du *cadran horizontal,* qui est le plus utile.

Construction du cadran horizontal. — La surface du cadran étant supposée plane et parfaitement horizontale, on y trace exactement la méridienne, et l'on place le style dans le plan du méridien, parallèlement à l'axe du monde, c'est-à-dire à la ligne qui donne la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon du lieu où l'on construit le cadran ; il reste alors à marquer les *lignes horaires* ou intersections des plans horaires de 15

en 15 degrés avec le plan du cadran. Ces lignes horaires sont évidemment des lignes droites passant toutes par le point de la méridiene où le style rencontre le cadran, et qui en fait le centre. La ligne de 90° ou de 6h. du matin et du soir est évidemment la droite menée par le centre du cadran perpendiculairement à la méridienne ; et comme tout est symétrique de part et d'autre de la méridienne, il suffit de déterminer rigoureusement les lignes horaires d'une moitié du cadran. Pour trouver, par exemple, les lignes horaires de 1h., 2h.,...on prend sur la méridienne CM (fig. 24) un point quelconque M par lequel on mène dans le plan du cadran une perpendiculaire AB à la méridienne CM, et, dans le plan du méridien, une perpendiculaire MP à la droite CP représentant la direction du style, de sorte que l'angle MCP égale la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon, par exemple, 48° 50′ 13″,2 à Paris. Imaginons que la perpendiculaire MP devienne verticale, et que du point P comme centre, avec le rayon PM, on décrive un cercle dans le plan vertical AB perpendiculaire au méridien CM : en partageant la circonférence de 15° en 15° à partir du point M, les tangentes de ces angles, qui auront le point M pour origine commune, marqueront par leurs extrémités les intersections des plans horaires de 15° en 15° avec la droite AB ; et joignant ces points d'intersection avec le point C, on aura les lignes horaires cherchées. La construction se fait commodément en prenant sur le prolongement de la méridienne une longueur MP′=MP, décrivant du point P′, avec le rayon MP′, une demi-circonférence qu'on divise, à partir du point M, en arcs de 15° en 15°, aux points *m*, *m*′, *m*″..., et menant par les points de division des droites P′*m*, P′*m*′, P*m*″, qu'on prolonge jusqu'à leur rencontre en N, N′, N″,... avec AB ; les tangentes des arcs de 15°, 30°, 45°,.... seront les droites MN,

M N′, M N″..... et les lignes horaires de 1^{h}., 2^{h}., 3^{h}., ... seront C N, C N′, C N″.....

Ordinairement on trace le cadran solaire dans le cabinet, et on l'oriente ensuite sur place.

91. La construction du *cadran vertical*, aussi usité que le cadran horizontal, se ramène à celle d'un cadran horizontal construit pour un lieu dont la latitude serait le complément de celle du lieu où l'on se trouve. Un cadran vertical se place ordinairement sur la face méridionale d'un mur perpendiculaire à la méridienne, pour qu'il marque les heures le plus longtemps possible. Dans ces sortes de cadrans, on remplace souvent la pointe du style par une plaque percée d'un petit trou rond qui marque sur le cadran un point éclairé dans l'ombre projetée par la plaque. C'est ce point éclairé qui indique l'heure. On peut aussi commencer par fixer la plaque d'une manière quelconque, et prendre pour centre du cadran l'intersection du mur par la ligne menée du petit trou de la plaque parallèlement à l'axe du monde. On peut aussi faire indiquer le temps moyen à un cadran solaire, en y marquant chaque jour le point où tombe l'ombre du sommet du style ou le point éclairé de la plaque, au moyen d'une horloge à pendule; la courbe qui joint tous ces points se nomme la *méridienne du temps moyen*, et a la forme d'un 8 allongé (fig. 25), formé de deux parties inégales. Elle rencontre la ligne droite qui est la méridienne du temps vrai en quatre points dont deux se confondent en un seul, de sorte que le midi vrai et le midi moyen ne coïncident que quatre fois par an (88). L'ombre projetée par le sommet du style rencontre deux fois par jour la méridienne du temps moyen, aussi a-t-on soin d'écrire le nom des mois le long de la courbe pour ôter toute incertitude sur le midi moyen.

Le plus simple de tous les cadrans est celui qu'on

appelle *cadran équatorial* ou *équinoxial*. Il consiste en un plan où l'on a tracé un cercle partagé en vingt-quatre parties égales, et au centre duquel on a dressé un style perpendiculaire au plan. Pour s'en servir, on incline le cadran sur une méridienne d'une quantité égale à la hauteur de l'équateur, par exemple, de $41^0\ 9'\ 46'',8$ pour Paris. Ce cadran ne peut pas servir à l'époque des équinoxes, parce qu'alors le soleil se trouve dans le plan même du cadran, qui n'est donc incliné d'aucun côté. Lorsque le soleil parcourt les six premiers signes à partir du Bélier, il est plus élevé que l'équateur, alors l'ombre du style marque les heures sur la face supérieure du cadran; mais dans les six derniers signes, le soleil est plus bas que l'équateur ; et alors le style marque les heures sur la face inférieure du cadran, qui pour cette raison est appelé *cadran à deux faces*.

L'art de construire les cadrans solaires se nomme *gnomonique*, parce que pour connaître l'heure au soleil on s'est d'abord servi d'un style vertical nommé *gnomon*, placé sur un plan horizontal. Mais ce moyen est remplacé bien avantageusement par les cadrans solaires actuels.

XVII. — *Calendrier. — Année civile, Julienne, Grégorienne.*

92. Les durées moyennes du jour sidéral et de l'année sidérale sont les unités de temps les plus invariables qu'on trouve dans la nature. Il en est de même du jour solaire moyen, mais non de l'année tropique ou équinoxiale, parce que le mouvement des points équinoxiaux n'est pas uniquement dû à la rétrogradation de l'équateur sur l'écliptique, mais encore aux déplacements que les planètes font éprouver au plan de l'écliptique, de sorte que l'année tropique est maintenant plus courte de $4'',21$ que

du temps d'Hipparque. L'année tropique et le jour solaire sont les unités naturelles, parfaitement convenables pour régler toutes les relations de la vie civile : aussi continue-t-on à les employer malgré le grand inconvénient qu'elles offrent d'être incommensurables, l'année ne contenant pas un nombre exact de jours. Si, pour les usages civils, on suivait exactement l'année tropique, la fraction $0^{j.},2422$ qui reste après les 365 jours ferait commencer les années successives à des heures différentes ; mais par toute la terre, l'année qu'on emploie, et qui se nomme *année civile,* commence à minuit; elle est toujours composée d'un nombre entier de jours qui commencent également à minuit.

93. Les Égyptiens avaient supprimé totalement la fraction $0^{j.}$, 2422 qui équivaut environ à un quart de jour, de sorte qu'au bout de 4 ans ils se trouvaient en avance d'un jour, et d'une année après 1 461 ans. Cette année des Egyptiens est ce qu'on appelle l'*année vague* ou de *Nabonassar*. Elle était divisée en 12 mois chacun de 30 jours, et à la fin de chaque année on ajoutait 5 jours complémentaires ou *épagomènes*. Par suite de la suppression de la fraction, chaque mois se trouvait successivement dans toutes les saisons, et ne pouvait servir à indiquer l'époque convenable à tel travail de la terre. Les différents peuples, et surtout les Romains, essayèrent plusieurs sortes d'intercalations pour remédier à tous ces inconvénients. Mais la confusion était devenue telle, par suite de ces intercalations arbitraires, qu'il était impossible de s'y reconnaître.

Enfin, 45 ans avant Jésus-Christ, Jules-César, assisté de Sosigène, célèbre astronome égyptien, entreprit la réforme du calendrier, qui s'appela dès lors *Calendrier Julien*. Il prescrivit de faire commencer chaque année civile au 1er janvier, et de faire suivre trois années com-

munes de 365 jours, d'une année de 366 jours dite *bissextile*, parce que l'addition du jour supplémentaire avait lieu le second sixième jour, *bis sexto*, ou le douzième avant les calendes de mars. Chez les Romains, le 1er du mois s'appelait *calendes*, d'où provient le mot *calendrier*.

94. Cette réforme consistait à supposer l'année tropique de 365j·,25. L'assemblage de 100 années juliennes formait le *siècle*. La correction julienne était trop considérable de 0j·,0078, puisque l'année tropique n'est que de 365 j·, 2422, et amenait une erreur de 7 jours en 900 ans. Aussi, quand plusieurs siècles se furent écoulés, on s'aperçut que les équinoxes devançaient de plus en plus les époques du 21 mars et du 21 septembre auxquelles le concile de Nicée les avait fixées 325 après Jésus-Christ, et on réclama une nouvelle réforme. Elle fut effectuée en 1582 par le pape Grégoire XIII, et prit de lui le nom de *réforme grégorienne*. Comme alors l'équinoxe était en avance de 10 jours, Grégoire, pour compenser ce retard, ordonna d'abord par une bulle que le lendemain du 4 octobre 1582 s'appellerait le 15 octobre, puis il décida que l'on continuerait à employer l'intercalation julienne d'un jour tous les 4 ans, mais qu'on supprimerait les bissextiles séculaires excepté une sur quatre. Ainsi, pour savoir si une année est bissextile, il faut diviser par 4 les deux chiffres à droite du millésime ; si la division peut s'effectuer aisément, l'année est bissextile. Mais les années séculaires ne sont bissextiles que si le millésime lui-même est exactement divisible par quatre. Les années 1700 et 1800 n'ont pas été bissextiles, l'année 1900 ne le sera pas non plus, mais seulement l'année 2000, et ainsi de suite.

95. L'intercalation grégorienne est très-approchée de la vérité, car au bout de 400 ans, la différence annuelle 0,0078 de l'intercalation julienne donne 3j·,12; or ; dans

400 ans on retranche 3 bissextiles, l'erreur de l'intercalation grégorienne n'est donc que $0^{j.},12$ en 400 ans, ou $1^{j.},2$ en 4000 ans. Cette réforme est donc plus que suffisante pour la Chronologie, et en convenant de supprimer encore une bissextile tous les 4000 ans, on aura des dates fort exactes pendant une très-longue période de temps; car alors le nombre de jours contenus dans 100000 années grégoriennes sera de 36 524 225, ce qui ne donne qu'un seul jour de différence avec 100 000 années tropiques d'après leur valeur actuelle. Cette réforme fut adoptée tout de suite dans tous les pays catholiques, et plus tard chez les nations protestantes. La Russie et la Grèce sont les seuls états d'Europe qui aient conservé le vieux style. Depuis 1800 la différence des deux styles est de 12 jours.

96. L'année se partage en 12 mois composés chacun de 31 ou de 30 jours, excepté février qui n'en a que 28 dans les années communes et 29 dans les années bissextiles. Voici les noms adoptés depuis l'empereur Auguste :

1.	Janvier	$31^{j.}$	7.	Juillet	$31^{j.}$
2.	Février	28 ou 29.	8.	Août	31.
3.	Mars	31.	9.	Septembre	30.
4.	Avril	30.	10.	Octobre	31.
5.	Mai	31.	11.	Novembre	30.
6.	Juin	30.	12.	Décembre	31.

Dans les usages journaliers on emploie une autre subdivision de l'année, qui est la *semaine*. Elle se compose de 7 jours, dont les noms sont tirés des planètes, excepté celui du dimanche, qui, dans l'origine, était le jour du soleil; mais depuis longtemps il est consacré au Seigneur. La semaine est le monument le plus ancien qui nous reste des connaissances humaines. Son origine se perd dans la nuit des temps. Les premiers peuples classaient les planètes d'après l'ordre de leur distance à la

terre, qu'ils ne pouvaient estimer que par le temps de leur révolution, étant privés d'instruments d'optique. D'après leur opinion, Saturne était la plus éloignée, puis venaient successivement Jupiter, Mars, le Soleil, Vénus, Mercure, la Lune *. Ils partageaient le jour en 10 heures, dont chacune était consacrée à une planète, et chaque jour s'appelait du nom de la planète à qui la première heure était consacrée. Ayant ainsi d'abord consacré la première heure du samedi à Saturne, la 2e l'était à Jupiter,...... la 8e à Saturne, la 11e du samedi ou la première du dimanche au Soleil, la première du lundi à la Lune, du mardi à Mars, du mercredi à Mercure, du jeudi à Jupiter, et enfin du vendredi à Vénus.

L'année se trouve ainsi composée de 52 semaines ; mais comme 52 fois 7 font 364, le jour qui commence l'année se reproduit une 53e fois pour la terminer. Le nom du premier jour de l'an est donc le même que celui du 31 décembre, ou du 30 si l'année est bissextile.

Par suite de l'intercalation julienne et de la réforme grégorienne, l'équinoxe du printemps a toujours lieu le 79e ou le 80e jour de l'année, ce qui en fixe le premier jour.

97. Les Grecs commençaient leur année au solstice d'été, et la divisaient en mois lunaires alternativement de 29 et de 30 jours, qu'ils faisaient commencer à la nouvelle lune. Leur année, n'étant ainsi que de 354 jours, se trouvait trop courte de 11 jours et $\frac{1}{4}$ environ, ce qui faisait 90 jours ou 3 mois en 8 ans. Ils appelaient ces *mois embolismiques* et les intercalaient de manière à avoir des années de 12 et de 13 mois. L'an 776 avant Jésus-Christ, ils

* Ce qui avait donné lieu au distique suivant :

Saturnus, dein Jupiter, hinc Mars, Solque, Venusque,
Mercurius, cui sic ultima Luna subest.

imaginèrent une période de 4 ans, qu'ils nommèrent *Olympiade*, du nom des jeux olympiques qui se célébraient dans la première année de ces périodes.

Les Turcs ont une année lunaire de 354 jours, qui n'a aucun rapport avec le mouvement du soleil.

98. Dans le calendrier perpétuel (voyez ce calendrier à la fin de notre Complément du Cours de Cosmographie et en tête de la plupart des livres d'église), les noms des jours à partir du 1er janvier sont remplacés par les lettres A, B, C, D, E, F, G, dont chacune représente le même jour pendant toute l'année. Celle qui indique le dimanche se nomme *lettre dominicale*. Comme l'année commune a un jour de plus que 52 semaines (96), et l'année bissextile deux jours de plus, il s'ensuit que la lettre dominicale rétrograde, dans l'ordre alphabétique, d'un rang par année commune, et de deux rangs par année bissextile. Car si, par exemple, la lettre dominicale d'une année commune a été A, c'est-à-dire si le 1er janvier a été un dimanche, le 31 décembre en sera de même un, le 1er janvier de l'année suivante sera un lundi, et par conséquent le 7 janvier sera un dimanche; or la lettre qui se trouve à côté du 7 janvier étant G, on voit que si la lettre dominicale d'une année commune est A, celle de l'année suivante sera G, c'est-à-dire la lettre qui précède A dans le calendrier perpétuel. De même, si la lettre dominicale d'une année commune est G, celle de l'année suivante sera F. Or, si cette année est bissextile, à cause de l'intercalation du 29 février, la lettre F, qui désigne le dimanche dans les deux premiers mois, désignera le lundi pour le reste de l'année, et par conséquent alors le dimanche sera désigné par la lettre précédente E. Ainsi les années bissextiles ont deux lettres dominicales, l'une pour les deux premiers mois de l'année, l'autre, qui précède toujours la première dans l'ordre

alphabétique, pour les dix derniers mois. Voici la série des lettres dominicales à partir de 1840 :

1840,	E D.
1841,	C.
1842,	B.
1843,	A.
1844,	G F.
1845,	E.

Il est facile de voir que les mêmes lettres dominicales doivent se reproduire périodiquement après 7 années bissextiles ou 7 fois 4 ans, c'est-à-dire après 28 ans. Cette période de 28 ans, au bout de laquelle les années recommencent par le même jour de la semaine, se nomme *cycle solaire* ou *cycle des lettres dominicales*. (Voyez, pour plus de détails, ainsi que pour la détermination de la lettre dominicale, notre Complément du Cours de Cosmographie, n° 97.) Au reste ce cycle n'est plus guère en usage depuis la réforme grégorienne, parce qu'il est interrompu quand arrive une année séculaire commune. Il faut alors donner 29 ans au cycle qui la contient; à l'aide de cette correction, le cycle sert à trouver par quel jour de la semaine commence une année aussi éloignée qu'on voudra.

99. Les fêtes du calendrier sont *fixes* ou *mobiles*. On appelle fixes celles qui arrivent toujours aux mêmes dates; ces fêtes sont les suivantes :

La Circoncision tombant	le 1er janvier.
L'Épiphanie.	le 6 janvier.
La Purification.	le 2 février.
La St-Philippe.	le 1er mai.
La St-Jean.	le 24 juin.
L'Assomption.	le 15 août.
La Toussaint.	le 1er novembre.
Noël.	le 25 décembre.

Les fêtes mobiles sont celles qui arrivent à des époques variables, dépendantes de celle de Pâques, qui change tous les ans. On avait voulu soumettre la fête de Pâques à l'équinoxe du printemps, et comme on croyait alors qu'il arrivait toujours le 21 mars, que de plus les lunaisons étaient réglées par les épactes civiles, on avait fixé Pâques au premier dimanche qui suit la pleine lune venant après le 20 mars. Ces deux suppositions étant fausses, il en est résulté une assez grande complication dans la détermination de cette fête. Nous donnons le moyen de la déterminer dans notre Complément du Cours de Cosmographie, n° 102.

Voici comment les autres fêtes mobiles se déterminent relativement au jour de Pâques.

La *Septuagésime* est le 9e dimanche ou 63 jours avant Pâques.

La *Quinquagésime* ou le dimanche gras est 49 jours avant Pâques.

Le jour des *Cendres* ou le premier du carême est le mercredi suivant.

Les dimanches de la *Passion* et des *Rameaux* sont le 2e et le 1er dimanche avant Pâques.

La *Quasimodo* est le dimanche qui suit Pâques.

L'*Ascension* est le 40e jour après Pâques. C'est toujours un jeudi.

La *Pentecôte* est le 50e jour après Pâques.

La *Trinité* est le 8e dimanche après Pâques, et la *Fête-Dieu* le jeudi d'après.

CHAPITRE QUATRIÈME.

—

DE LA LUNE.

—

XVIII. — *Mouvement propre de la lune. — Inclinaison de l'orbite lunaire sur l'écliptique. — Nœuds de la lune. — Leur mouvement. — Durée de la révolution de la lune, soit par rapport à ses nœuds, soit par rapport au soleil; mois lunaire.*

100. La lune est, après le soleil, l'astre le plus brillant du ciel et le plus intéressant pour nous. Elle se déplace de même par un mouvement propre dirigé en sens contraire de la rotation diurne, mais bien plus considérable; car, pour le constater, il suffit d'une légère attention soutenue pendant quelques heures de clair de lune. Le déplacement journalier de la lune s'élève environ à 13°, tandis que celui du soleil ne va pas à un degré; du reste il se détermine de même en le rapportant à une étoile brillante dont on observe deux passages consécutifs au méridien. Si l'on détermine jour par jour l'ascension droite et la déclinaison de la lune au moment de son passage au méridien, en rapportant ces positions méridiennes sur un globe, on trouve qu'elle décrit sur la sphère céleste une orbite peu différente d'un cercle et dont la terre est le centre. Les changements de figure de la lune ne s'opposent nullement à la détermination exacte de son mouvement; car le soleil éclairant toujours un hémisphère de la lune, on aura son diamètre apparent

en prenant la plus grande largeur de la portion visible de l'hémisphère éclairé; de sorte qu'on pourra toujours, comme pour le soleil, rapporter toutes les observations au centre du disque réel. On les réduit d'ailleurs au centre de la terre à l'aide de la parallaxe horizontale de la lune (110).

Par suite de son mouvement propre, tantôt accéléré, tantôt retardé, mais jamais interrompu, ni interverti, la lune fait le tour du ciel dans une période moyenne de $27^{j.}\ 7^{h.}\ 43'\ 11'',5$, au bout de laquelle elle reprend, à très-peu près, la même position par rapport aux étoiles. C'est ce qu'on nomme sa *période* ou *révolution sidérale.* Chaque année, sa plus grande déclinaison boréale égale sa plus grande déclinaison australe; mais ce *maximum* varie d'une année à l'autre, tandis qu'il est constant pour le soleil. La révolution tropique de la lune est de $27^{j.}\ 7^{h.}\ 43'\ 4'',7$.

Le plan de l'orbite lunaire fait, avec le plan de l'écliptique, un angle égal à $5^{o}\ 8'\ 48''$, qui se nomme l'*inclinaison de l'orbite.* On détermine cette inclinaison en mesurant les plus grandes latitudes de la lune de part et d'autre de l'écliptique. Elle varie de 5° à $5^{o}\ 17'$.

101. Les deux points opposés où l'orbite de la lune rencontre l'écliptique se nomment *nœuds;* celui par lequel elle s'élève en passant du sud au nord de l'écliptique s'appelle le *nœud ascendant*, l'autre est le *nœud descendant.* Le premier se nomme encore la *tête du dragon,* et le deuxième la *queue du dragon.* La droite qui joint ces deux points se nomme la *ligne des nœuds;* elle se déplace d'orient en occident dans le même sens que la ligne des équinoxes, mais avec un mouvement bien plus rapide, et qui est maintenant de $3'\ 10'',64$ par jour; de sorte que dans une période de 6793,39 jours solaires moyens, ou environ 18 ans 7 mois et demi, le nœud ascendant parcourt, en vertu de son mouvement

rétrograde, la circonférence entière de l'écliptique. C'est ce qu'on appelle la *révolution tropique des nœuds.*

Il résulte du mouvement rétrograde des nœuds, que quand le soleil et la ligne des nœuds se sont rencontrés en un certain point du ciel, ils doivent encore se rencontrer avant que le soleil ne revienne au même point, puisque les nœuds s'avancent vers lui. Cette période, qui est de 346j·,61963, se nomme *révolution synodique du nœud.*

102. On voit, par ce qui précède, que le mouvement de la lune présente des phénomènes analogues à celui du soleil, excepté qu'ils s'exécutent bien plus rapidement, et sur une moindre échelle. Mais l'analogie est loin d'être complète, à cause du mouvement rapide des nœuds. L'orbite apparente décrite par le soleil reste invariable au moins pour un grand nombre de révolutions, tandis que l'orbite lunaire n'est pas réellement une courbe fermée A M B N (fig. 26), mais telle que la courbe A P D Q F. La lune partant de son nœud ascendant A ne rencontre pas l'écliptique dans un point B diamétralement opposé par rapport à la terre C, mais en un point D tel que l'arc A D de longitude, compris entre les nœuds ascendant et descendant, est plus petit que 180°; de même elle ne va pas de nouveau rencontrer l'écliptique en E dans le prolongement de C D, mais en G, de sorte que l'angle A C G est la quantité dont le nœud ascendant a rétrogradé sur l'écliptique d'un passage à l'autre. Ainsi, pour compléter une révolution sidérale, la lune devra encore décrire sur son orbite un arc G F qui la ramènera non au point A, mais au point F ayant même longitude, et de plus une latitude boréale qui n'excède pas 8′.

C'est par suite de la petite valeur de cette déviation qu'on regarde l'orbite lunaire comme une courbe plane. Mais dans le cours d'une seule révolution sidérale, la position de la lune diffère peu de celle qu'elle aurait en réalité

si les nœuds étaient immobiles. Au milieu de la période de 18 ans $\frac{6}{10}$ que le nœud ascendant met à parcourir l'écliptique, l'orbite lunaire se trouve dans une position exactement inverse de celle qu'elle avait au commencement. La lune traverse donc desconstellations différentes, et occupe successivement tous les points d'une zone de 10° 18′ de largeur, également partagée par l'écliptique, et qui est limitée par l'inclinaison de l'orbite lunaire.

103. Nous avons vu que la révolution sidérale de la lune était de $27^{j.}$ $7^{h.}$ 43′ 11″,5. C'est le temps que la lune, se trouvant au méridien avec une certaine étoile, met à revenir au méridien avec la même étoile. Si le soleil était fixe comme une étoile, c'est-à-dire, n'avait pas de mouvement propre, en le supposant aussi dans le méridien en même temps que la lune et l'étoile, il y reviendrait également avec la lune lorsqu'elle aurait accompli sa révolution sidérale; mais au bout de cette période, le soleil s'étant déjà porté d'environ 27° à l'est, par suite de son mouvement propre qui est de 0°,98565 par jour, il faudra donc environ 2 jours à la lune pour l'atteindre avec sa vitesse de 13°,17640 par jour. Le temps exact que la lune met à parcourir l'arc excédant se calcule aisément par une simple proportion. L'ajoutant à la révolution sidérale, on trouve $29^{j.}$ $12^{h.}$ 44′ 2″,87 pour le temps total que la lune met à atteindre de nouveau le soleil, en les supposant ensemble au point de départ. Cette période se nomme *révolution synodique* ou *lunaison*, ou bien encore *mois lunaire*.

On voit que ce problème a la plus grande analogie avec celui des courriers et des aiguilles d'une montre; aussi on le résout de la même manière. (*Voyez* notre Arithmétique, n° 217, et notre Algèbre, n° 81.)

Le *jour lunaire moyen* est de $24^{h.}$ 50′ 28″,5, temps moyen; l'excès de 50′ 28″5 se nomme le retard diurne de la lune.

XIX. — *Phases de la lune.*

104. On sait de toute antiquité que la lune n'est pas lumineuse par elle-même, et ne brille que d'un éclat emprunté, nous réfléchissant seulement la lumière qu'elle reçoit du soleil. Les diverses apparences qu'elle nous présente dans son cours, et qu'on appelle ses *phases*, en sont une preuve évidente, puisqu'elles proviennent seulement de la manière dont la lune est éclairée par rapport à nous. Si l'on imagine qu'un globe, dont une moitié soit éclairée et l'autre moitié obscure, tourne de manière à nous offrir une partie progressivement croissante de sa moitié éclairée, ses apparences seront absolument identiques avec celles que nous présente la lune, passant d'un étroit filet demi-circulaire à un cercle complet. En outre, la convexité du croissant lunaire est toujours tournée vers le soleil. Enfin le soleil est le seul astre à la fois capable de donner à la lune un aussi vif éclat, et assez éloigné pour en éclairer la moitié. Il résulte donc de tous ces faits que la lune est un corps globuleux, opaque, et nous réfléchissant uniquement la lumière qu'il reçoit du soleil.

105. Suivons maintenant les phases de la lune. Soient (fig. 27) T la terre, A B C.... l'orbite lunaire, S A, S B, SH, les rayons du soleil qui peuvent être considérés comme parallèles, vu sa grande distance. La lune se trouvant en A sur la droite menée du centre du soleil au centre de la terre, c'est-à-dire *en conjonction* avec le soleil, elle présente complétement à la terre son hémisphère obscur, de sorte qu'on ne peut apercevoir aucun point de son hémisphère éclairé ; on dit alors que la lune est *nouvelle*. Lorsqu'elle vient en B, on découvre une portion de l'hémisphère éclairé qui apparaît sous la forme d'un croissant convexe vers le soleil. La lune venant en un point

C situé à 90° de A, ce qu'on appelle *en quadrature,* la séparation d'ombre et de lumière devient une ligne droite. On voit alors la lune sous la forme d'un demi-cercle, et on dit qu'elle est dans son *premier quartier.* Lorsqu'elle arrive en D, la portion lumineuse du disque s'arrondit et paraît sous la forme d'une espèce d'ovale; venant ensuite au point E, c'est-à-dire *en opposition* avec le soleil, elle tourne complétement vers la terre son hémisphère éclairé; on dit alors que la lune est *pleine* ou dans son *second quartier.* La lune s'accroît donc progressivement pendant tout le temps qu'elle met à aller de A en E, et qu'on appelle le *cours* de la lune. Les mêmes phénomènes se reproduisent exactement dans un ordre inverse pendant son *décours* ou le temps qu'elle emploie pour rejoindre le soleil en A. La conjonction et l'opposition de la lune ont reçu le nom de *syzygies.* Les deux positions intermédiaires sont, comme on l'a dit, les *quadratures.* A l'époque de la conjonction, la lune et le soleil passent au même instant au méridien ; ils y passent encore en même temps, lors de l'opposition, mais l'un au méridien supérieur ou à midi, et l'autre au méridien inférieur ou à minuit. Dans les quadratures, le soleil et la lune sont à 90° l'un de l'autre ; par conséquent, la lune passe au méridien à $6^{h.}$ du matin ou du soir.

Le retour des mêmes phases de la lune est précisément ce qu'on nomme le *mois lunaire ;* il se compte de nouvelle lune en nouvelle lune, et se divise en quatre quartiers. Nous avons vu (103) que sa valeur était de $29^{j.}\ 12^{h.}\ 44'\ 2'',87$ ou environ $29^{j.}\ \frac{1}{2}$, ce qui donne 12 lunaisons et près de 11 jours pour l'année.

106. La terre, étant un corps opaque éclairé par le soleil, réfléchit les rayons qu'elle en reçoit, de manière que l'angle d'incidence égale l'angle de réflexion. Lorsqu'elle est convenablement placée par rapport à la lune,

elle doit également l'éclairer. C'est ce qu'on vérifie aisément en observant la lune avec le télescope, lorsque la face qu'elle nous présente n'est pas entièrement éclairée par le soleil ; car alors la portion de cette face, privée des rayons solaires directs, n'est pas tout à fait obscure. Elle nous offre au contraire une lueur faible, mais sensible, qui achève de dessiner le contour du disque. Ce phénomène, connu sous le nom de *lumière cendrée*, est seulement bien prononcé vers l'époque de la nouvelle lune, parce qu'alors la terre étant à peu près *pleine* pour la lune, lui réfléchit une assez grande quantité de lumière, pour que celle-ci puisse être une seconde fois réfléchie vers nous distinctement.

XX. — *Orbite elliptique. — Mouvement du périgée. — Moyen de déterminer la distance de la lune à la terre. — Diamètre de la lune.*

107. Nous avons dit (100) que l'orbite lunaire était une courbe peu différente d'un cercle. Pour l'obtenir exactement il faut déterminer jour par jour la position de la lune pendant toute la durée d'une révolution ; et pour cela, au lieu d'observer immédiatement ses longitudes qu'on n'aurait aucun moyen de vérifier, on observe les ascensions droites d'où l'on déduit les longitudes, ce qui fait connaître le mouvement de la lune parallèlement au plan de l'écliptique aussi exactement que si l'on avait pu se transporter à ce plan. On connaît ainsi la direction des rayons vecteurs correspondants à chaque position journalière de la lune, et il ne reste plus qu'à déterminer leurs rapports de longueur, qu'on déduit de la comparaison des diamètres apparents, exactement de la même manière que pour l'orbite du soleil. Le micromètre donne 29',365 et 33',316 pour les valeurs extrêmes du diamètre apparent de la lune, qui, par conséquent, nous

paraît quelquefois plus grosse que le soleil. Comme les distances sont en raison inverse des diamètres apparents, prenant une des distances pour unité de mesure, on en déduira les valeurs relatives de toutes les autres distances, et les rapportant sur les rayons vecteurs correspondants, qui sont déjà déterminés en direction, on trouvera que la courbe passant par leurs extrémités est une ellipse dont la terre occupe l'un des foyers. Son plan, comme on l'a déjà dit, est incliné de 5° 8′ 48″ sur l'écliptique. Cette ellipse est bien plus allongée que l'ellipse solaire, et son excentricité s'élève à 0,05484 du demi-grand axe.

108. En réalité l'orbite de la lune n'est pas exactement une ellipse fermée, par suite du déplacement de son plan, et du mouvement de ses nœuds qui lui fait décrire une série de courbes en forme de spirale non interrompue, comme on l'a vu plus haut. Mais on peut considérer l'orbite comme elliptique pour une seule révolution, puisque son point d'arrivée, ayant même longitude que le point de départ, ne donne qu'une différence de 8′ en latitude. La longitude se compte sur l'écliptique à partir d'un nœud ascendant. Le point de l'orbite, qui est le plus voisin de la terre, se nomme le *périgée*, comme pour l'orbite solaire; le point le plus éloigné est l'*apogée*. Ces deux points s'appellent également *apsides*, et la ligne qui les joint se nomme la *ligne des apsides*.

Le périgée correspondant au plus grand diamètre apparent de la lune, il est facile de déterminer sa position sur le ciel étoilé, c'est-à-dire de remarquer deux étoiles voisines entre lesquelles il est situé. Répétant la même observation à la fin d'une révolution, on trouve que le périgée n'est plus à la même distance des deux étoiles, et que par conséquent il a changé de place. En suivant le mouvement du périgée pendant une longue suite de révolutions de la lune, on trouve que le périgée emploie

5232,5755 jours solaires moyens, ou à peu près 9 ans, pour faire une révolution complète du ciel, ce qui lui donne un mouvement de 6′ 41″ par jour, ou 3° environ pour chaque révolution lunaire. Ce mouvement du périgée, qui a lieu de l'ouest à l'est dans le même sens que le mouvement propre de la lune, est connu sous le nom de *révolution des apsides*. La ligne des apsides faisant une révolution du ciel en 9 ans, se trouve être complétement retournée au bout de 4 ans et demi, le périgée ayant alors pris la place de l'apogée, et réciproquement.

109. En dernière analyse, on peut concevoir que la lune décrive autour de la terre une ellipse dont celle-ci occupe l'un des foyers, le grand axe ou la ligne des apsides faisant une révolution complète du ciel en 9 ans, et le plan de l'ellipse étant dans une oscillation perpétuelle en vertu de laquelle il fait une révolution complète en 18 ans $\frac{6}{10}$. Du reste la vitesse de la lune est bien plus grande au périgée qu'à l'apogée, et son rayon vecteur décrit, comme pour l'orbite solaire, des aires égales en des temps égaux; sa vitesse moyenne est de 6,2 myriamètres par minute.

Le temps que la lune met à faire sa révolution sidérale est maintenant plus court que du temps d'Hipparque; d'où il résulte que son mouvement devient plus rapide. Si cette accélération croissait toujours, la distance de la lune à la terre diminuerait sans cesse, et finirait par devenir nulle. Mais la cause de cette accélération est périodique et liée aux variations qu'éprouve l'excentricité de l'orbite solaire; quand l'une augmente, l'autre diminue, mais sans jamais dépasser un certain terme après lequel venant alors à augmenter, c'est la première qui diminue. Il résulte de là que depuis 2000 ans la température de la terre n'a pas varié de $\frac{1}{170}$ de degré. Comme la démonstration nous écarterait trop du programme de l'Université,

nous renvoyons à notre Complément du Cours de Cosmographie, n° 63.

110. La distance de la lune à la terre se détermine au moyen de sa parallaxe horizontale, exactement comme on l'a exposé pour le soleil (65). Mais nous remarquerons d'abord que la parallaxe horizontale de la lune, observée d'une même station, varie sensiblement d'un jour à l'autre par suite du mouvement rapide de cet astre, de sorte que la valeur obtenue par une observation ne convient qu'au jour et même à l'heure de l'observation. Cette parallaxe varie en outre avec la latitude de la station, parce que la terre n'est pas sphérique, et acquiert sa plus grande valeur à l'équateur où le rayon terrestre est le plus grand. C'est pourquoi l'on réduit toujours à l'équateur la parallaxe horizontale, qui prend alors le nom de *parallaxe équatoriale.* C'est celle-ci qui se trouve dans toutes les tables lunaires, diminuée d'ailleurs de la réfraction, quantité plus petite qu'elle-même, tandis que dans les tables solaires c'est la parallaxe qu'on a retranchée de la réfraction.

Pour déterminer la distance de la lune, La Caille et Lalande allèrent, l'un au cap de Bonne-Espérance, l'autre à Berlin. Soient O et O′ (fig. 18) ces deux stations, à peu près situées sur un même méridien et distantes d'un rayon terrestre. Les deux astronomes observèrent, au jour convenu et à l'instant du passage de la lune au méridien, la distance de son centre S au pôle nord, La Caille se servant à cet effet d'une étoile dont il connaissait la position par rapport au pôle. Ils déterminèrent ainsi l'angle O S O′, d'où ils déduisirent $57' 17'', 906$ pour la valeur de la parallaxe équatoriale de la lune. Or, d'après les tables citées au n° 66, pour qu'un objet soustende un angle de $57' 17'', 906$, il faut en être à une distance égale à 60 fois ses dimensions; et comme l'objet

est ici le rayon équatorial vu directement dans toute sa longueur, il en résulte que pour cette parallaxe la distance du centre de la lune au centre de la terre égale 60 fois 6 377109 mètres, c'est-à-dire 382 626 540 mètres ou 38 262,7 myriamètres à très-peu près. On a répété les mêmes opérations pendant 28 jours consécutifs, c'est-à-dire pendant toute une révolution sidérale de la lune, et les distances obtenues pour chaque jour se sont trouvées précisément dans le rapport inverse des diamètres apparents, ce qui prouvait l'exactitude des résultats. Il n'est pas nécessaire que les deux observateurs soient dans le même méridien, mais alors il faut réduire les nombres à cette position. Au lieu des distances polaires de la lune, on peut aussi observer ses distances zénithales qui en sont les compléments. Ajoutons que les parallaxes du soleil et des planètes sont de trop petits angles pour qu'on puisse les obtenir exactement par ce procédé, qui est seulement applicable à la parallaxe de la lune.

La parallaxe équatoriale de la lune, qui est variable comme nous l'avons dit, est toujours comprise entre 53′ 48″ et 61′ 24″. D'après la *Connaissance des temps* pour 1840, sa plus grande valeur aura lieu cette année le 9 décembre et sera de 61′ 22″,4 ; sa plus petite valeur aura lieu le 25 décembre et sera de 53′ 53″, 3, ce qui donne 57′ 37″,8 pour la moyenne arithmétique; mais la parallaxe qui correspond à la distance moyenne de la lune, pour une même orbite, n'est pas tout à fait la moyenne arithmétique entre les valeurs extrêmes, parce que le mouvement de la lune n'est pas uniforme. Au reste, la parallaxe relative à la moyenne distance varie un peu par suite du déplacement progressif de l'orbite lunaire à chaque révolution, et sa valeur déterminée au moyen d'une longue suite d'observations est de 57′,67 ou 57′ 40″. On trouve alors que la distance correspondante du centre de la lune au

centre de la terre égale 59,6169 fois le rayon équatorial, c'est-à-dire 380 185 470 mètres, ou 38 018 myriamètres environ. On peut donc dire, en nombre rond, que *la distance moyenne de la lune à la terre est de* 38 000 *myriamètres* *.

La valeur de la parallaxe ne pouvant être affectée que d'une erreur de 1″ au plus, ou environ sa 3600e partie, puisqu'elle s'écarte peu de 1° ou 3600″, on voit que la distance obtenue pour la lune est exacte à moins d'une quantité égale à sa 3600e partie ou 10 myriamètres; tandis que la parallaxe du soleil étant 8″,6, quantité fort petite, n'a pu servir à déterminer sa distance que très-approximativement ou à 177 900 myriamètres près. Au reste, la distance de la lune n'est environ que la 400e partie de celle du soleil, et ne dépasse guère le quart du diamètre réel de cet astre. Ainsi la circonférence matérielle du soleil est presque double de l'orbite lunaire, et si l'on conçoit que le centre du soleil coïncide avec celui de la terre, sa surface ira s'étendre à une distance presque double de la distance de la lune!

111. Le diamètre réel de la lune se déduit du rapport de l'une quelconque de ses parallaxes au demi-diamètre

* Selon Herschel, la distance moyenne de la lune à la terre égale 59, 9643 fois le rayon équatorial, ce qui la fait correspondre à 57′ 19″, 47 de parallaxe moyenne. Son rayon équatorial est 6 377 432m.,2, et cependant il donne 381 407 631 mètres pour la moyenne distance de la lune, ce qui ne cadre pas avec ses nombres, puisque le produit de son rayon équatorial par 59, 9643 fait 382 418 257 mètres. Au reste l'inexactitude du chiffre d'Herschel (traduction de Peyrot, p. 110), peut provenir d'une faute d'attention ou d'impression. D'après notre rayon équatorial et la parallaxe moyenne d'Herschel 57′ 19″, 47, la distance moyenne de la lune serait égale à 382 398 877 mètres, ou à peu près 38 240 myriamètres.

Enfin, d'après la formule des parallaxes $P = 206\,265\,\frac{D}{R}$, où P est le nombre de secondes contenues dans la parallaxe horizontale, R le rayon terrestre et D la distance de l'astre, on trouve D = 380 166 060 mètres, ce qui justifie notre adoption de 38 000 myriamètres pour la distance moyenne de la lune.

apparent correspondant. Prenons, par exemple, la parallaxe moyenne 57′,67 et le diamètre correspondant 31′,431. Alors le diamètre terrestre, vu de la lune, soustend un angle égal à 115′,34, double de la parallaxe. Or, à une même distance, les diamètres réels sont, pour de petits angles, proportionnels aux diamètres apparents; donc en prenant pour unité le diamètre de la terre, on aura la proportion

$$115',34 : 31',431 :: 1 : x = \frac{31',431}{115',34} = 0,2725.$$

Ainsi le diamètre de la lune égale 0,2725 de celui de la terre, ou, à fort peu près les $\frac{3}{11}$. Multipliant le diamètre équatorial de la terre par 0,2725, on obtient, pour celui de la lune, 3 475 524 mètres ou 347,6 myriamètres à 476 mètres près. Les volumes étant comme les cubes des diamètres, si l'on prend le volume de la terre pour unité, celui de la lune sera donné par la proportion $1 : (0,2725)^3 :: 1 : x = 0,020\,348$ ou à peu près $\frac{1}{49}$. Ainsi la terre est environ 49 fois plus grosse que la lune.

112. Lorsque la lune se trouve au zénith d'un lieu de la surface de la terre, elle en est plus rapprochée qu'à l'horizon, et la différence est d'environ $\frac{1}{60}$ de sa distance. Par conséquent, son diamètre apparent est en réalité plus grand de 1″ au zénith qu'à l'horizon. Or, au contraire, elle nous paraît alors plus petite (ainsi que le soleil) par suite d'une illusion d'optique. Cette illusion est causée par l'absence des objets intermédiaires, qui servent à nous donner une idée de sa grande distance, lorsqu'elle se trouve à l'horizon. Ainsi, lorsqu'elle est parvenue au zénith, nous la jugeons plus rapprochée, et par conséquent nous devons la trouver plus petite. La teinte pâle que les vapeurs et les couches plus denses de l'atmosphère donnent à la lune lors de son lever contribue encore à nous la faire juger plus éloignée, et par

conséquent plus grosse. L'illusion cesse en grande partie, lorsqu'on regarde l'astre avec un tube creux ou un verre coloré nous dérobant les objets intermédiaires. (Voyez notre Complément du Cours de Cosmographie, n° 84.)

XXI. — *Rotation de la lune sur son axe. — Libration.*

113. L'observation longtemps continuée des taches de la lune prouve qu'elle présente toujours la même face à la terre, et la description que Plutarque donne de cette face visible s'accorde parfaitement avec celle que nous lui voyons aujourd'hui. Il suit de là que la lune a un mouvement de rotation qui s'accomplit exactement dans le même temps qu'elle met à faire sa révolution sidérale autour de la terre, c'est-à-dire en 27 j. $\frac{1}{3}$ environ, et qui a de même lieu d'occident en orient. Si la lune ne tournait pas sur elle-même, lorsqu'elle serait parvenue à la fin de sa révolution, elle nous montrerait la face exactement opposée ; or elle nous montre constamment la même, et nous ne pourrons jamais apercevoir l'autre. La circonférence de l'équateur lunaire étant de 10918678 mètres, ou 1091,8 myriamètres, un point de son équateur décrit $4^{m.}$,6 par seconde, ou 276 mètres par minute. La lune, dans sa révolution autour de la terre, n'a qu'un jour et qu'une nuit, chacun égal à 15 fois 24 de nos heures.

114. Le mouvement de rotation de la lune est uniforme et s'exécute parallèlement à un plan incliné de 1° 30′ 11″ sur l'écliptique. Mais le mouvement de révolution autour de la terre est soumis à de petites inégalités. Ce défaut de concordance parfaite entre la durée des deux mouvements doit nous faire apercevoir des objets situés sur la face opposée de la lune et très-près de ses bords ; un examen suffisamment prolongé nous montre en effet que certaines taches voisines des bords paraissent s'en approcher et s'en éloigner alternativement. De même, d'autres

taches situées contre le bord disparaissent et reparaissent périodiquement, tout en conservant leurs positions respectives. Ces oscillations nous apprennent que la lune est soumise à une espèce de balancement qu'on a nommé *libration*.

On en distingue de deux sortes, l'une en *longitude*, qui provient du défaut de concordance entre sa rotation et sa révolution autour de la terre, ce qui nous fait apercevoir quelques degrés, à l'est ou à l'ouest de l'équateur lunaire, de plus qu'une demi-circonférence; l'autre en *latitude*, dépendant de l'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite lunaire, ce qui fait successivement avancer un peu chaque pôle vers l'intérieur du disque, et nous découvre les taches situées près des pôles sur la face opposée.

On peut encore regarder comme une troisième espèce de libration, appelée *libration diurne*, les variations d'apparences que la lune offre au même instant à des observateurs situés en différents points de la surface de la terre; car les deux librations précédentes sont celles qui auraient lieu pour un observateur placé au centre de la terre. La ligne joignant les centres de la terre et de la lune perce la surface de la lune au même point, sauf la libration. Par conséquent, un observateur lunaire apercevrait la terre immobile sur la voûte céleste.

115. La lune ne nous envoie, comme on l'a dit, qu'une lumière réfléchie. L'astronome Bouguer a prouvé que cette lumière, concentrée au foyer des plus fortes lentilles, ne produit aucun effet sensible sur un thermomètre à air. Or les rayons solaires, concentrés de la même manière, fondent le silex qui résiste cependant à nos meilleurs fourneaux. Bouguer a conclu de ses expériences que la lumière de la lune était 300 000 fois plus faible que celle du soleil.

La lumière cendrée acquiert son *maximum* d'intensité lorsque la lune est nouvelle, parce qu'alors la terre est *pleine* pour la lune, et comme sa surface est 13 fois plus grande, elle lui réfléchit alors une très-grande quantité de lumière qui doit lui faire l'équivalent de 13 lunes.

XXII. — *Éclipses de soleil, totale, partielle, annulaire.*

116. La lune, étant bien plus rapprochée de la terre que le soleil, doit nécessairement s'interposer quelquefois entre eux. Alors si le centre de la lune est situé en quantité notable au-dessus ou au-dessous de la ligne qui joint l'observateur terrestre au centre du soleil, la lune ne lui cache aucune partie du disque solaire. Mais si la lune a son centre sur cette ligne, elle lui dérobe une partie plus ou moins grande du soleil, ce qui produit le plus imposant de tous les phénomènes astronomiques, une *éclipse de soleil;* dans ce cas, l'éclipse est dite *centrale.* Lorsque le diamètre apparent de la lune est égal à celui du soleil ou plus grand que lui, le soleil est entièrement caché aux yeux de l'observateur, qui voit à sa place le disque lunaire sous la forme d'une tache noire circulaire, et l'on dit que l'éclipse est *totale.* L'obscurité qui en résulte peut égaler à peu près celle de la nuit, mais jamais parfaitement, à cause d'une petite auréole lumineuse attribuée à l'atmosphère du soleil, et qui permet seulement d'apercevoir les étoiles de première et de seconde grandeur. Si le diamètre apparent de la lune est plus petit que celui du soleil, la lune ne cache que l'intérieur du disque solaire, dont le bord offre alors le singulier spectacle d'un mince anneau lumineux entourant le disque noir de la lune. Dans ce cas, on dit que l'éclipse est *annulaire.* Dans tous les autres cas, où la lune s'interpose entre le soleil et l'observateur, de manière à lui en déro-

ber une certaine partie sans avoir son centre exactement sur la ligne qui le joint au centre du soleil, on dit que l'éclipse est *partielle*.

Une éclipse de soleil peut être totale pour un observateur situé en un certain point de la surface terrestre et invisible pour un autre, parce que, pour celui-ci, la lune ne se projette plus sur le disque du soleil. L'ombre, portée par la lune, parcourant d'occident en orient l'hémisphère terrestre tourné vers le soleil, l'éclipse est donc successivement aperçue de proche en proche dans cette direction.

117. Pour qu'une éclipse de soleil puisse avoir lieu, il faut d'abord que le soleil et la lune soient en *conjonction*, c'est-à-dire aient même longitude, ce qui arrive seulement quand la lune est nouvelle. Mais cela ne suffit pas; comme le plan de l'orbite lunaire ne coïncide pas avec l'écliptique, étant incliné sur elle de $5^{\circ}\ 8'\ 48''$, il faut encore que le soleil et la lune aient à peu près même latitude. Or l'effet de la parallaxe étant de déplacer le bord du disque lunaire d'une quantité qui peut atteindre la valeur de la parallaxe horizontale, il faut, pour qu'il puisse y avoir éclipse en quelque point de la terre, que la distance angulaire du centre du soleil et du centre de la lune, observée de la terre, ne soit pas plus grande, à l'instant de la conjonction, que la somme des demi-diamètres apparents augmentée de la parallaxe horizontale de la lune. Le *maximum* de cette somme est environ $1^{\circ}\ 34'\ 27''$. Toutes les fois que la distance des centres des astres dépassera cette valeur à l'époque de la conjonction, on est certain qu'il ne peut y avoir éclipse.

118. Suivons maintenant les diverses circonstances d'une éclipse de soleil. Représentons (fig. 28) le soleil par S, la terre par T, la lune par L; le soleil étant plus gros que la lune, les rayons extrêmes A E, B F, tangents à tous deux se rencontreront quelque part en

un point O qui sera le sommet du cône d'ombre EOF projeté par la lune ; et, de l'intérieur du cône, on n'apercevra aucun point du soleil. Mais tout l'espace situé hors de ce cône ne sera pas également éclairé, car les rayons A F, B E, également tangents au soleil et à la lune, et qui se coupent en un point G situé entre ces astres, déterminent un autre cône G C D, dont les deux nappes C E O, D F O, situées entre la lune et la terre, et nommées *pénombre*, sont privées d'une partie des rayons solaires. Ce cône détermine donc sur la terre une zone O C T D telle qu'un observateur situé entre sa limite C T D et l'ombre O ne découvrira qu'une portion de la surface du soleil d'autant plus petite qu'il sera plus voisin de l'ombre O, et par conséquent d'autant plus grande qu'il se rapprochera de la limite C T D de la pénombre. D'après la distance et les dimensions de la lune, le sommet du cône d'ombre O E F est toujours situé près de la surface de la terre, mais tantôt au delà, tantôt en deçà. Dans le premier cas, la lune forme sur la surface de la terre une tache noire O produisant une éclipse totale pour l'observateur qui s'y trouve compris. En dehors de la tache, et jusqu'à la limite C T D, se trouve la pénombre produisant une éclipse partielle pour les observateurs situés dans cette partie. Hors de la limite C T D, il n'y a pas du tout d'éclipse. Lorsque la pointe du cône d'ombre n'atteint pas la surface de la terre, il n'y a nulle part d'éclipse totale, et l'observateur situé dans le prolongement de l'axe du cône voit une éclipse annulaire.

XXIII. — *Éclipses de lune, totale, partielle.*

119. La terre, étant comme la lune, un corps opaque éclairé par le soleil, projette de même derrière elle un cône d'ombre, mais dont la longueur est plus considé-

rable et surpasse environ trois fois la distance de la lune à la terre. Quand la lune sera située dans le cône, elle ne recevra plus la lumière du soleil, et deviendra invisible à très-peu près, alors il y aura *éclipse de lune*. Soit (fig. 29) S le soleil, T la terre; le cône d'ombre est déterminé par les rayons extrêmes A C, B D tangents au soleil et à la terre. Leur intersection O en est le sommet. Ce cône est séparé de l'espace totalement éclairé par une pénombre formée des deux nappes H C O, I D O appartenant à un autre cône H G I que déterminent les rayons H B, I A, tangents au soleil et à la lune, mais se coupant entre ces corps en un point G. Lorsqu'une éclipse de lune doit avoir lieu, la lune L entre d'abord dans la pénombre où elle perd sa clarté par degrés à mesure qu'elle s'y engage davantage, puis pénétrant dans le cône d'ombre, elle disparaît en totalité ou en partie, selon sa direction relative ou la manière dont elle y pénètre, et l'éclipse est *totale* ou *partielle*. Une éclipse totale l'est en même temps pour tous les lieux du monde. C'est toujours par son bord oriental que la lune commence à s'éclipser, présentant la même phase à tous ceux qui l'ont en même temps au-dessus de l'horizon. Les éclipses de lune, étant ainsi les mêmes pour un observateur situé à la surface ou au centre de la terre, peuvent se calculer bien plus facilement que les éclipses de soleil. Le centre commun de l'ombre et de la pénombre est toujours situé sur l'écliptique en un point opposé au soleil; et comme les tables lunaires donnent à chaque instant la position de la lune, on pourra déterminer les instants où la distance du centre de la lune au centre commun de l'ombre et de la pénombre égale la somme faite du demi-diamètre lunaire et du demi-diamètre de l'ombre et de la pénombre.

120. Pour que la lune soit éclipsée, il faut qu'elle soit

en opposition, et dans les nœuds, ou au moins qu'elle n'en soit pas plus éloignée que 9°. La lune serait tout à fait invisible, dans une éclipse totale, si les rayons solaires étaient exactement en ligne droite dans toute leur étendue ; mais comme ils sont réfractés par l'atmosphère, ceux qui arrivent par ce moyen jusqu'à la lune suffisent pour la faire distinguer, mais sans lui communiquer aucun éclat. Le seul cas où la lune est totalement invisible dans une éclipse totale est celui d'une atmosphère couverte de nuages qui interceptent les rayons du soleil.

121. La grande exactitude des tables astronomiques, comprenant toutes les circonstances des mouvements des astres, ainsi que leurs distances respectives et leurs parallaxes, permet de prédire, avec une extrême précision, l'instant, la durée et l'étendue des éclipses. Comme 19 révolutions synodiques du nœud lunaire et 223 lunaisons, ou révolutions synodiques moyennes, font également 6 585 jours avec une fraction de jour, c'est-à-dire 18 ans et 10 jours, on voit que les éclipses doivent se reproduire périodiquement après cet intervalle de temps, le nœud lunaire étant alors revenu à la même position. Cette période de 18 ans était nommée *Saros* par les Chaldéens qui s'en servaient pour prédire les éclipses. Elle contient 70 éclipses, dont 41 de soleil et 29 de lune. Le nombre des éclipses n'est pas constant par année; telle année en offre 4 et telle autre aucune.

Les mêmes tables lunaires montrent qu'il s'écoule 235 lunaisons en 19 ans, parce que les 11 jours, dont l'année solaire surpasse 12 lunaisons, font, au bout de 19 ans, 7 lunaisons qui s'ajoutent aux 19 · 12 ou 228 lunaisons annuelles. Les sept années sur ces 19, qui ont 13 nouvelles lunes au lieu de 12, se nomment *embolismiques*. Cette période de 19 ans, au bout de laquelle les phases

de la lune reviennent périodiquement aux mêmes jours, se nomme *cycle lunaire* ou *nombre d'or*, parce que les Athéniens avaient fait graver en lettres d'or les propriétés de ce cycle découvert par Méton. Si donc on forme, avec les résultats des observations, 19 tables qu'on numérote de 1 à 19, pour connaître les époques des phases de la lune pour toute une année, il suffira de choisir la table convenable. La première année du cycle étant celle qui précéda l'ère chrétienne, il en résulte qu'en ajoutant 1 au chiffre de l'année et divisant la somme par 19, le reste sera le nombre d'or de l'année. Ainsi pour 1840, on divisera 1841 par 19, ce qui donnera 17 pour le nombre d'or de 1840.

On appelle *épacte* l'âge de la lune au 1er janvier. Comme l'année solaire surpasse de 11 jours l'année lunaire, si l'épacte est 0 pour une année, elle sera 11 pour l'année suivante, 22 pour celle d'après, puis 33 ou simplement 3 en ôtant 30, et ainsi de suite : d'après cela on peut former le tableau suivant :

Nombres d'or	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Épactes	0	11	22	3	14	25	6	17	28	9	20	1	12	23	4	15	26	7	18

Ce tableau conduit aux deux règles suivantes pour le dix-neuvième siècle.

1° *Retranchant* 4 *des deux chiffres à droite du millésime de l'année, et divisant la différence par* 19, *le reste est le nombre d'or.*

2° *Retranchant* 1 *du nombre d'or, multipliant la différence par* 11, *et divisant le produit par* 30, *le reste est l'épacte civile.*

Le tableau varie selon les siècles à cause de la réforme grégorienne.

Nous donnons plus de détails sur cette partie du calendrier dans notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 94 à 100.

XXIV. — *Occultations. — Leur usage pour déterminer les longitudes terrestres.*

122. Les éclipses de soleil démontrent évidemment que la lune est un corps opaque, et non lumineux par lui-même, ce que l'observation de ses phases nous avait déjà fait reconnaître. Le phénomène connu sous le nom d'*occultation* en donne encore une preuve incontestable. La lune recouvre de son disque toutes les étoiles qu'elle rencontre dans sa marche, et qui, cessant alors d'être visibles pour nous, se trouvent éclipsées ou *occultées,* d'où est venu le nom d'*occultation* donné à ce phénomène. Les occultations arrivent indifféremment lorsque les étoiles sont cachées par la partie obscure ou éclairée, visible ou invisible du disque lunaire. Lorsque l'occultation a lieu par la partie éclairée du disque, le télescope nous montre cette partie s'approchant graduellement de l'étoile, et nous avertit de l'instant où elle va s'éclipser. Mais si la lune s'approche de l'étoile par la partie invisible de son disque, on a le singulier spectacle d'une étoile qui semble s'éteindre subitement en plein air, sans avoir d'abord diminué d'intensité. D'où il suit que la partie invisible du disque de la lune n'en existe pas moins pour n'être pas vue, et intercepte aussi bien la lumière que la partie visible. De même, lorsque l'étoile a été éclipsée par le bord extérieur du croissant, elle ne reparaît pas au bord intérieur, mais seulement lorsqu'elle a été dépassée par le disque entier. Alors elle offre le spectacle inverse du précédent, c'est-à-dire celui d'une étoile qui se forme subitement.

Pour qu'une occultation d'étoile soit possible, il faut que la distance angulaire de l'étoile au centre du disque lunaire soit égale à la somme de la parallaxe locale et

du demi-diamètre apparent de la lune. Mais comme ce demi-diamètre est donné dans les tables pour le centre de la terre, il faut l'augmenter convenablement en raison de la plus grande proximité de la lune à l'observateur situé en un point de la surface terrestre.

123. A cause de la rapidité du mouvement de la lune, s'élevant à seconde de degré par seconde de temps, l'instant où elle occulte une étoile peut être regardé comme un phénomène instantané, d'ailleurs aussi facile à observer sur mer que sur terre; c'est pour cela que l'occultation des étoiles est avantageusement employée par les marins pour déterminer leur longitude à un instant quelconque. Les tables lunaires contiennent les distances angulaires de la lune aux principales étoiles qu'elle peut rencontrer dans sa course, calculées avec un soin extrême de $6^{h.}$ en $6^{h.}$ pour les principaux observatoires, tels que ceux de Paris, Londres, etc. Par conséquent, on peut en déduire l'instant précis où l'occultation de ces étoiles doit y avoir lieu. Lors donc qu'étant situé en un point quelconque du globe, on observe l'occultation d'une certaine étoile, en comparant le temps du lieu où l'on se trouve avec le temps compté à l'observatoire de Paris, par exemple, on en déduira la différence de longitude entre l'observatoire de Paris et le lieu où l'on se trouve.

124. L'occultation des étoiles donne une preuve directe que la lune est dépourvue d'atmosphère, ou du moins n'en a pas qui soit même égale au vide qu'on peut produire par la machine pneumatique. Car supposons la lune s'avançant vers une étoile qu'elle occulte par l'extrémité de son diamètre oriental; si l'on note exactement l'instant I de l'immersion, et l'instant E de l'émersion à l'extrémité occidentale du diamètre, la différence des temps I—E donnera la durée totale de l'occultation.

Or, calculant cette même durée d'après la longueur du diamètre de la lune et sa vitesse, qu'on peut regarder comme uniforme pendant l'intervalle d'un jour, on ne trouve pas une différence de 2″ entre les durées fournies par l'observation et par le calcul. Mais, après avoir fait le vide le plus parfait possible dans le récipient de la machine pneumatique, le calcul montre que l'air, qui s'y trouve encore, fait éprouver à la lumière une réfraction plus forte que 1″. Par conséquent, s'il existait même une aussi faible atmosphère autour de la lune, elle aurait pour effet de nous faire apercevoir l'étoile au moins 1″ après qu'elle aurait été déjà cachée par son disque à l'époque de l'immersion, et de nous la faire apercevoir de même 1″ plus tôt à l'époque de l'émersion, lorsqu'elle serait encore occultée par le disque. Le contraire ayant lieu, comme nous l'avons dit, il en résulte que la lune n'a pas même une atmosphère égale au vide de nos récipients.

125. Si l'on observe la lune à l'aide du télescope, on remarque que le bord intérieur du croissant n'est jamais nettement dessiné, mais offre des dentelures plus ou moins grandes, et souvent même des points brillants isolés, voisins de la partie éclairée dont ils sont séparés par des espaces encore obscurs. Ces points sont accompagnés d'une ombre plus ou moins forte, restant toujours opposée au soleil et tournant en même temps que lui; d'où il suit évidemment que la lune offre des montagnes à sa surface. Avec des instruments d'un grand pouvoir, on a reconnu que la lune avait des montagnes très-nombreuses, plus hautes que les nôtres, et offrant tous les vrais caractères volcaniques. Elles sont séparées par des cavités isolées en forme de puits qui ne communiquent pas ensemble. En outre, les phénomènes de la polarisation de la lumière prouvent qu'il n'y a pas une goutte d'eau dans la lune, ce qui d'ailleurs ne peut être autrement puisque

la lune n'a pas d'atmosphère, comme on le démontre par les occultations des étoiles, et que s'il y avait de l'eau, il se formerait au moins une atmosphère nuageuse. Par conséquent, la lune n'a ni pluies, ni grêles, ni orages. Comme en outre le même hémisphère lunaire reçoit pendant quatorze jours consécutifs les rayons du soleil, et en est ensuite privé pendant quatorze autres jours, il doit en résulter alternativement une chaleur brûlante et un froid très-rigoureux, se succédant subitement, ce qui, joint à l'absence d'eau et d'oxygène, met hors de doute que la lune n'est pas habitée, au moins par des individus organisés comme nous.

XXV. — *Rapport des positions de la lune et du soleil avec le phénomène des marées.*

126. Le phénomène des marées consiste, comme tout le monde sait, dans un mouvement régulier et périodique des eaux de l'Océan qui s'élèvent et s'abaissent deux fois par jour. Les eaux s'élèvent pendant un quart de jour environ, ce qu'on appelle le *flux* ou *flot;* ayant atteint leur *maximum* d'élévation, qui se nomme la *haute mer* ou *marée,* elles ne tardent pas à redescendre par un mouvement inverse, qui est le *reflux*, et dure de même environ un quart de jour. Leur plus grand abaissement se nomme la *basse mer;* dès que les eaux l'ont atteint, elles ne tardent pas à s'élever de nouveau et à recommencer la même série de phénomènes. Un examen attentif montre, jusque dans les moindres détails, leur rapport avec les positions de la lune et du soleil. L'influence de la lune y est surtout sensible. Car les retours des mêmes phénomènes ont lieu deux fois, non dans 24 heures, mais dans un intervalle un peu plus grand et précisément égal au temps qui sépare deux retours consécutifs de la lune

au méridien. Cet intervalle, qu'on peut appeler *jour lunaire*, est de $1^{j},03505$. Les deux marées ont lieu un demi-jour environ après le passage de la lune au méridien soit supérieur, soit inférieur. L'instant de la marée ne coïncide pas avec le passage de la lune au méridien, parce que son action met un certain temps à se communiquer à la mer.

127. L'époque précise de la marée varie selon les localités. A Dunkerque, la pleine mer a lieu un demi-jour après chaque passage de la lune au méridien; à St-Malo, c'est un quart de jour après; au cap de Bonne-Espérance, c'est $0^{j},0625$. La marée, n'étant autre chose qu'un véritable courant, peut éprouver un retard ou une accélération, une diminution ou une augmentation, par suite de diverses circonstances locales, comme les bancs de sable, rochers, etc. C'est pourquoi, dans chaque port, il faut avoir observé les phénomènes d'une marée pour y rapporter les autres. On a choisi pour point de comparaison l'heure à laquelle la pleine mer a lieu le jour de la nouvelle lune ou de la conjonction, ce qu'on appelle l'*établissement du port*. Lorsqu'on l'a déterminé dans chaque lieu par l'observation, il suffit d'y ajouter successivement $0^{j},03505$ ou $50' 28'',5$, en temps solaire moyen, pour obtenir les retards successifs des marées d'un jour à l'autre, ce qui indique exactement les instants où elles doivent avoir lieu dans le même port.

On fixe solidement un poteau vertical où l'on marque l'élévation de la *marée*, qu'on prend égale à la demi-somme de deux pleines mers consécutives au-dessus de la basse mer intermédiaire.

La hauteur de la marée n'est pas tous les jours la même dans un même port; elle offre au contraire de grandes variations intimement liées avec les changements de distance de la lune, et avec ses diverses positions relative-

ment au soleil. L'observation apprend que la marée atteint son *maximum* un jour et demi après l'instant de la nouvelle lune, et de la pleine lune ou après les syzygies; c'est de même un jour et demi après les quadratures qu'elle est réduite à son *minimum*. En outre, ce *maximum* et ce *minimum* varient considérablement d'un port à l'autre. En 1840, par exemple, la pleine mer du 5 mars, la plus forte de l'année, a été, au-dessus du niveau moyen de la mer, pour

Granville.	6m., 85
Saint-Malo. . . .	6, 45
Brest.	3, 46
Dieppe.	3, 09
Cherbourg. . . .	2, 91.

Comme le niveau de la mer varie à chaque instant, on prend pour niveau moyen, dit proprement le *niveau de la mer*, la moyenne entre les hauteurs d'un grand nombre de hautes et basses mers consécutives. Alors dans chaque port, on adopte, pour *unité de hauteur* au-dessus de ce niveau, la moitié de la différence entre la plus haute et la plus basse mer équinoxiales, c'est-à-dire la moitié de la *marée totale* du jour où le soleil et la lune sont dans l'équateur, et à leurs moyennes distances de la terre, parce que cette marée est à peu près indépendante de leurs déclinaisons. L'*unité de hauteur* du port de Brest, déduite de 384 observations de hautes et basses mers équinoxiales, est 3m.,21, la moyenne des observations ayant donné 6m.,42 de différence entre les hautes et les basses mers. Voici les *unités de hauteur* des cinq ports mentionnés:

Granville.	6, 35
Saint-Malo.	5, 98
Brest.	3, 31

Dieppe.	2, 87
Cherbourg.	2, 70

L'*Annuaire du bureau des longitudes* donne chaque année la hauteur des pleines mers pour toutes les syzygies de l'année. D'après lui, la plus forte pleine mer de 1840 a eu lieu le 5 mars et a dû être égale à $1^{m.}$,08. Multipliant ce nombre par l'unité de hauteur d'un port désigné, on obtient la hauteur de la marée dans ce port au 5 mars.

128. On voit, par ce qui précède, que la lune exerce une grande influence sur les marées ; mais si elle en est la cause principale, ce n'est pas la seule. Les distances relatives du soleil, ainsi que ses déclinaisons, influent aussi sur les marées, quoique d'une manière bien moins sensible, et rendent ce phénomène assez compliqué. Mais il s'explique immédiatement par le principe de la pesanteur universelle qui est rejeté à la fin du Cours dans le programme de l'université. C'est donc seulement après l'avoir exposé (201), que nous pourrons en déduire l'explication des marées.

Les marées se font sentir dans les fleuves jusqu'à plus de 10 myriamètres de leur embouchure, mais à cette distance les marées retardent beaucoup sur celles qui ont lieu à l'embouchure, comme il est facile de le concevoir.

129. La lune n'a réellement d'action que sur le phénomène des marées, quoiqu'on lui attribue communément, au moins dans les classes les moins élevées de la société, beaucoup d'autres influences physiques. (Voyez, dans le *premier appendice* placé à la suite du présent Cours, l'explication des faits attribués à ces prétendues influences.)

CHAPITRE CINQUIÈME.

MOUVEMENT DES PLANÈTES.

XXVI. — *Station et rétrogradation. — Distance des planètes au soleil. — Leurs diamètres. — Durée de leurs révolutions autour du soleil. — Des satellites. — Vitesse de la lumière. — Détermination des longitudes par les éclipses des satellites de Jupiter. — Anneau de Saturne.*

130. Nous avons vu que les étoiles composant la sphère céleste étaient entraînées autour de la terre par un mouvement général, nommé mouvement diurne, et conservaient invariablement leurs distances respectives. Un examen plus attentif nous fait bientôt découvrir, sur la voûte du ciel, des astres la plupart aussi brillants que les plus belles étoiles, mais changeant de position avec plus ou moins de rapidité relativement aux étoiles, et par conséquent animés d'un mouvement propre, analogue à celui que nous avons reconnu dans le soleil et dans la lune. Ces astres, qui ont été nommés *planètes* ou astres errants, se distinguent encore des étoiles en ce qu'ils n'offrent pas comme elles le phénomène de la *scintillation*, qui rend leur lumière comme tremblante ou vacillante *.

* Voyez, pour l'explication du phénomène de la scintillation des étoiles, notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 46 à 55, où elle est déduite du principe des interférences qui s'y trouve très-détaillé.

Dans l'état actuel de la science, les planètes sont au nombre de *dix*, non compris la terre. Les voici avec leurs signes, dans l'ordre de leurs distances au soleil :

1.	Mercure. . .	☿	6.	Cérès.	⚳
2.	Vénus. . . .	♀	7.	Pallas.	⚴
3.	Mars.	♂	8.	Jupiter. . . .	♃
4.	Vesta. . . .	⚶	9.	Saturne. . . .	♄
5.	Junon. . . .	⚵	10.	Uranus. . . .	♅

Cinq d'entre elles, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, remarquables par leur éclat, ont été connues de tout temps; les cinq autres, Uranus, Cérès, Pallas, Vesta, Junon, sont d'une découverte moderne, et ne sont jamais visibles qu'au télescope, si ce n'est quelquefois Uranus à la vue simple, mais très-difficilement.

Les cinq grandes planètes et Uranus, restant toujours comprises dans la zone du ciel nommée zodiaque, ont été, pour cette raison, nommées *planètes zodiacales*, les quatre autres sont dites *ultra-zodiacales*, ou bien encore *télescopiques*. En outre, les planètes Mercure et Vénus, s'écartant peu du soleil, passent toujours en deçà du soleil par rapport à la terre; c'est pourquoi on les nomme *planètes inférieures;* toutes les autres, ne passant jamais en deçà du soleil par rapport à la terre, sont dites *planètes supérieures*.

Mercure est la planète la plus voisine du soleil; mais comme elle est rarement visible, ainsi qu'on l'expliquera plus tard, nous choisirons Vénus pour exposer les mouvements planétaires.

131. A certaines époques, on remarque, peu de temps après le coucher du soleil, un astre offrant l'apparence d'une belle étoile blanche très-brillante, et qu'on a nommé, pour cette raison, l'*Étoile du soir* ou *du*

berger, ou bien encore *Vesper*. Si on l'observe plusieurs jours consécutifs, on s'aperçoit qu'elle ne reste pas toujours à la même distance du soleil, mais s'en écarte de plus en plus vers l'orient par un mouvement qui, rapporté aux étoiles, est direct. Lorsqu'elle s'en est éloignée jusqu'à une distance angulaire de 29°, elle reste un certain temps stationnaire, comme si elle était arrêtée par un obstacle. Après quoi, prenant une marche rétrograde par rapport aux étoiles, elle continue encore à s'éloigner du soleil d'environ 16° à 19°. Se trouvant alors à 45° ou 48° du soleil, ou environ au quart de la partie visible de l'écliptique, ce qui donne sa plus grande *élongation*, elle commence à s'en rapprocher par un mouvement également rétrograde par rapport aux étoiles; et comme on ne peut ordinairement l'apercevoir, à la vue simple, qu'après le coucher du soleil, elle apparaît quelques instants après, et brille à l'occident pendant 3$^{h.}$ ou 4$^{h.}$ au plus. Les jours suivants elle continue à se rapprocher du soleil, toujours avec son mouvement rétrograde, et reste de moins en moins visible, l'instant de son coucher devenant de plus en plus voisin de celui du soleil, jusqu'à ce qu'enfin, se couchant presque en même temps que lui, l'éclat des rayons solaires empêche de l'apercevoir et la fasse totalement perdre de vue. Quelques jours après sa disparition, on découvre le matin vers l'orient une belle étoile que l'on n'apercevait pas auparavant. D'abord elle n'apparaît que peu d'instants avant le lever du soleil, semblant se dégager de ses rayons, et se nomme, pour cette raison, l'*Étoile du matin* ou *Lucifer*. Ensuite elle devance de plus en plus le lever du soleil, dont elle s'écarte vers l'occident, par un mouvement rétrograde. jusqu'à la distance angulaire de 29°. Alors elle s'arrête tout à coup, et paraît quelque temps stationnaire; puis, reprenant un mouvement direct, elle continue encore à

s'éloigner du soleil d'environ 16° à 19°; et s'en trouvant alors à une distance de 45° à 48°, elle brille à l'est pendant 3h. ou 4h. au plus; ensuite elle commence à se rapprocher du soleil, toujours par un mouvement direct, jusqu'à ce que, se levant en même temps que lui, elle disparaisse dans ses rayons et devienne invisible. Quelques jours après, on revoit à l'occident la même étoile du soir qu'on avait cessé d'apercevoir, et la même série de phénomènes recommence.

Ces mouvements alternatifs, observés pendant plus de deux mille ans sans aucune interruption, montrent que l'étoile du soir et l'étoile du matin, regardées longtemps comme deux astres différents, ne sont qu'un seul et même astre, assujetti en outre à un mouvement propre par suite duquel il oscille autour du soleil, tantôt le précédant et tantôt le suivant dans sa marche. Cet astre est Vénus.

Vénus persiste dans son mouvement rétrograde pendant 42 jours; mais comme il est plus que compensé par le mouvement direct, la planète avance de l'ouest à l'est. Sa route apparente relativement à l'écliptique E C (fig. 30) est la courbe *abcdef*, le mouvement étant direct de *a* en *b*, rétrograde de *b* en *c*, direct de *c* en *d*, etc. Les stations ont lieu aux points *b*, *c*, *d*, *e*. La figure citée représente le mouvement de la planète vue de coupe, l'œil étant situé dans le plan de l'écliptique.

132. Voilà ce qu'on peut apercevoir à la vue simple; mais le télescope apprend que Vénus a des phases, comme la lune. Ces phases sont très-sensibles, et Copernic les avait même soupçonnées avant la découverte du télescope.

Galilée reconnut bientôt ces phases en dégageant Vénus de sa lumière diffuse à l'aide de cet instrument que le hasard venait de faire découvrir. Le soir, lorsque Vénus se rapproche du soleil, elle offre l'apparence d'un croissant lumineux dont la convexité est tournée vers le

soleil, et les pointes vers l'orient. La largeur du croissant diminue graduellement à mesure que la planète se rapproche du soleil, jusqu'à ce qu'elle disparaisse dans ses rayons. Atteignant alors le disque du soleil, elle s'y projette en forme d'une tache noire circulaire dépourvue de pénombre, ce qui prouve que ce n'est pas une tache solaire. Elle traverse la totalité du disque, et disparaît en arrivant au bord opposé. Bientôt Vénus, reparaissant le matin à l'ouest du soleil, offre les phases exactement inverses, c'est-à-dire, un croissant qui augmente graduellement à mesure qu'elle s'éloigne de cet astre, et prend la forme d'un demi-cercle en atteignant sa plus grande distance ou *élongation*. La planète se rapprochant du soleil, la partie éclairée du disque s'accroît de plus en plus, et présente un cercle entier lorsqu'elle l'a rejoint. Il suit de là que Vénus est un corps opaque, visible seulement par la réflexion de la lumière qu'il reçoit lui-même du soleil. (Voyez la représentation des planètes sur la planche III.)

133. Le diamètre apparent de Vénus, qui varie avec sa distance, atteint son *maximum* de 61′ environ lorsque la planète, se plongeant le soir dans les rayons du soleil ou s'en dégageant le matin, est alors située entre le soleil et la terre, ou dans sa *conjonction inférieure*. Il atteint son *minimum* de 10′ environ, lorsque la planète, se plongeant le matin dans les rayons solaires ou s'en dégageant le soir, est située au delà du soleil par rapport à la terre, ou dans sa *conjonction supérieure*. Calculant les valeurs relatives de ses distances à la terre d'après ses diamètres apparents, on trouve qu'elles ne s'accordent pas avec la supposition d'une orbite circulaire ou elliptique autour de la terre considérée comme centre ou comme foyer, mais ont un rapport constant avec les distances de la planète au soleil.

Il est donc naturel de rapporter les mouvements de Vénus au soleil comme centre. Dès lors on voit disparaître toutes les irrégularités apparentes qu'offrent ses mouvements vus de la terre. Nous démontrerons en effet tout à l'heure (149) que Vénus décrit autour du soleil une ellipse dont cet astre occupe l'un des foyers, sans rien préjuger toutefois sur la question du mouvement du soleil autour de la terre ou de la terre autour du soleil. Il en est de même des autres planètes.

134. L'orbite de Vénus n'embrasse pas la terre, car, dans ce cas, la planète se trouverait quelquefois en opposition avec le soleil, c'est-à-dire passerait au méridien à minuit, ce qui n'a jamais lieu.

La révolution tropique de Vénus est de $224^{j.}\ 16^{h.}\ 42'$; sa révolution sidérale, qui est un peu plus grande, égale $224^{j.}\ 16^{h.}\ 49'\ 8''$, ce qui donne un mouvement moyen de $1^{o}\ 36'\ 7''$, 8 par jour. Mais cette période diffère beaucoup des intervalles entre ses plus grandes distances au soleil ou élongations, soit occidentale, soit orientale, qui sont les époques de son plus grand éclat, quoiqu'alors elle soit seulement demi-pleine, et non pleine comme à la conjonction supérieure, où elle est trop éloignée de nous. Vénus reparaît en effet à son plus grand éclat, comme étoile du soir, à des intervalles moyens de près de $584^{j.}$. Cette différence de jours provient de ce que la terre n'est pas immobile pendant une révolution sidérale de la planète, mais circule dans le même sens qu'elle, de sorte que le retour de Vénus à sa plus grande élongation, du même côté du soleil, correspond à une position plus avancée dans son orbite. Si l'on calcule le temps qu'elle met à revenir à cette position, on trouve $583^{j.},920$; c'est la valeur moyenne de sa *révolution synodique* (103).

La distance moyenne * de Vénus au soleil égale 0,723

* Nous donnons les distances exactes des planètes au soleil, ainsi

de celle de la terre prise pour unité ou 11 070 000 myriamètres. Son diamètre égale 0,975 de celui de la terre, ou environ 1 200 myriamètres. Son volume égale à fort peu près celui de la terre. Vénus a une orbite inclinée de 3° 23′ 28″,5 sur l'écliptique dont elle s'écarte quelquefois jusqu'à une latitude plus forte que celle des autres planètes et atteignant 9°. C'est ce qui avait déterminé les anciens à prendre 9° de part et d'autre de l'écliptique pour les limites du zodiaque, afin qu'il comprît tous les mouvements des planètes ; mais il est devenu tout à fait inutile depuis la découverte des planètes *ultra-zodiacales* (130).

135. Le grand éloignement de Vénus et sa proximité du soleil ne permettent pas de reconnaître exactement sa forme ; on sait seulement qu'elle est à peu près sphérique. Néanmoins Cassini observa quelques taches à sa surface, d'où il conclut qu'elle tournait sur elle-même, en 0$^{j.}$,973 ou près de 23$^{h.}$ 21′ 7″ (temps sidéral), autour d'un axe dont l'inclinaison sur l'écliptique est de 15°. Ce résultat fut depuis confirmé par Schroëter : il trouva que la corne australe du croissant, qui est quelquefois tronquée, employait cet intervalle de temps pour offrir périodiquement la même apparence : en outre, il conclut de la grandeur de l'échancrure, que Vénus devait avoir des montagnes 3 à 4 fois plus hautes que celles de la terre. Elle a une atmosphère analogue à la nôtre, ce que démontre l'excès de l'arc du croissant lumineux sur une demi-circonférence,

que leurs dimensions et les éléments de leurs orbites, dans les tableaux du n° 203, auxquels nous renvoyons une fois pour toutes. Dans le chapitre actuel, nous indiquons, pour plus de simplicité, les distances au soleil en nombres ronds de 10 000 myriamètres, et, avec 3 décimales seulement, ces mêmes distances en fonction du demi-grand axe de l'orbite terrestre ou de la distance moyenne de la terre au soleil, qui égale 15 300 000 myriamètres (68). Les diamètres et les volumes des planètes sont également approchés.

qu'il ne pourrait dépasser sans cela. Les phénomènes de chaleur et de lumière doivent y être plus intenses que sur la terre ; ils sont peut-être le double.

156. Les passages de Vénus sur le soleil sont des phénomènes du plus haut intérêt en astronomie, parce qu'ils fournissent le moyen le plus exact que l'on connaisse pour déterminer la parallaxe et par suite la distance du soleil. Ces passages, loin d'avoir lieu à toutes les conjonctions inférieures, sont fort rares à cause de l'inclinaison de l'orbite de la planète sur l'écliptique, et ne se reproduisent qu'après des intervalles alternatifs de 8 ans et de 113 ans et demi. Il faut en outre que la planète soit près de ses nœuds. Le premier passage aura lieu le 8 décembre 1874, et ne sera pas visible à Paris, un second passage aura lieu le 6 décembre 1882. Le dernier passage arrivé le 3 juin 1769 donna lieu à trois grandes expéditions ordonnées par la France, l'Angleterre et la Russie, pour aller l'observer de différents points de la terre. Vénus semble, au moment de son passage, décrire sur le disque solaire des cordes inégales pour les divers observateurs, et chacun d'eux calcule exactement le temps qu'elle leur paraît mettre à parcourir chaque corde. C'est d'après la comparaison des résultats qu'on a fixé la valeur de la parallaxe horizontale du soleil à 8″,5776. (Voyez, pour plus de détails, notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 112 et 113.)

157. Mercure est une très-petite planète, une fois plus voisine que Vénus du soleil, dont elle est située à une distance égale à 0,387 de celle de la terre, ou 5920000 myriamètres. Elle n'est visible à l'œil nu que dans ses plus grandes élongations, qui varient, selon les époques, entre 16° 12′ et 28° 48′. Le plus souvent Mercure est engagé dans les rayons du soleil, en compagnie duquel il fait, comme Vénus, le tour du ciel. Il

a de même des phases, des stations et des rétrogradations, et persiste dans son mouvement rétrograde pendant 22 jours. Sa révolution sidérale, qui excède à peu près d'une minute sa révolution tropique, est de $87^{j.},969$, ou $87^{j.}\ 23^{h.}\ 15'\ 44''$. Mais, pour un habitant de la terre, cette révolution varie de 106 à 130 jours, et a 116 jours ou exactement $115^{j.},977$ pour valeur moyenne. C'est l'intervalle de temps après lequel nous voyons Mercure revenu à sa même position relativement au soleil, c'est-à-dire sa révolution synodique. Les stations de Mercure ont lieu à des élongations qui varient entre 15° et 20° selon les circonstances. L'orbite de Mercure est inclinée de $7^{\circ}\ 0'\ 9'',1$ sur l'écliptique. C'est la plus excentrique de toutes les orbites planétaires, l'excentricité s'élevant à 0,2055149 du demi-grand axe. Les passages de Mercure, qui offrent peu d'intérêt, sont ramenés par les périodes de 3, 4, 6, 7, 10 et 13 ans. Ces passages n'arrivent qu'en mai et novembre. Le premier aura lieu le 8 mai 1845, et le second le 9 novembre 1848.

L'observation de petites taches qu'offre Mercure montre qu'il tourne sur lui-même en 24 heures $5'\frac{1}{2}$ autour d'un axe fortement incliné sur son orbite, ce qui doit amener de grandes variations dans les saisons. Son diamètre apparent varie de $5''$ à $11'', 27$, ce qui donne à peu près $8''$ pour la moyenne. Son diamètre réel égale 0,398 de celui de la terre, ou environ 500 myriamètres. Son volume égale à peu près 0,06 de celui de la terre. Mercure paraît avoir des montagnes fort élevées, et une atmosphère très-dense. La lumière et la chaleur y sont 7 fois plus intenses que sur la terre au milieu de l'été.

138. Mercure et Vénus sont, comme on l'a dit, les seules planètes *inférieures;* toutes les autres sont *supérieures*, c'est-à-dire se meuvent dans des orbites embrassant

l'écliptique, et viennent en opposition aussi bien qu'en conjonction avec le soleil. Elles ont toutes des mouvements qui, vus de la terre, sont aussi très-irréguliers, et paraissent, comme les planètes inférieures, tantôt directes, tantôt rétrogrades et tantôt stationnaires. Ces planètes ont leur mouvement rétrograde à l'opposition, et quelque temps avant et après.

Mars est la plus voisine des planètes supérieures; elle emploie 786 jours pour accomplir une révolution synodique, c'est-à-dire pour revenir à l'opposition, ou en général à la même position relativement au soleil, ce qui doit amener 15 oppositions en 32 ans. Sa révolution sidérale est de 676j·,98, d'où l'on conclut que la valeur moyenne de son mouvement diurne est de 31′ 26″,7. L'inclinaison de son orbite est de 1° 51′ 6″,2. Sa distance moyenne au soleil égale environ une fois et demie celle de la terre au soleil, ou 23 310 000 myriamètres. Son diamètre apparent varie entre 3″,56 et 17″ à 19″; à la conjonction il est de 3″, 56, ce qui donne 38 000 000 myriamètres pour sa distance à la terre, son diamètre réel n'étant que 0,517 de celui de notre globe ou environ 660 myriamètres. Le diamètre de Mars n'étant ainsi qu'à peu près la moitié de celui de la terre, son volume n'en excède guère le 8e. Mars paraît sous la forme d'une étoile rougeâtre, ce qu'on attribue à son atmosphère; le télescope nous le montre constamment éclairé, et plus ou moins arrondi; sa forme est tout à fait circulaire dans les conjonctions et les oppositions, mais elle devient plus ou moins ovale dans le passage d'une de ces positions à l'autre, sans cependant se rétrécir au delà de $\frac{1}{8}$. Mars offre des taches constantes très-sensibles (planche III), au moyen desquelles on a reconnu qu'il tournait sur lui-même de l'ouest à l'est en 24h· 39′ 21″, et autour d'un axe inliné d'environ 59° 24′ sur l'écliptique. Ces taches sont

constantes dans le voisinage de l'équateur. Mais on remarque en outre à chaque pôle, et surtout au pôle austral, une grande tache blanche qui disparaît presque entièrement à certaines époques, et se reforme ensuite ; ce qu'on attribue à la fonte des glaces du pôle pendant l'été. Le diamètre polaire est plus petit que le diamètre équatorial dans le rapport de 189 à 194. Tous ces faits établissent une grande analogie entre cette planète et la terre, et font présumer qu'elle pourrait être habitée par des individus organisés comme nous.

139. Jupiter se présente à la vue simple comme une étoile de première grandeur dont l'éclat l'emporte quelquefois sur celui de Vénus. Il met 4 332$^{j.}$ 14$^{h.}$ 2′, ou près de douze ans, à parcourir son orbite avec une vitesse moyenne égale à fort peu près à 1° en 12 jours ou 5′ par jour. Pendant cet intervalle de temps Jupiter revient 12 fois en opposition, ce qui a lieu tous les 399 jours. C'est donc la durée de sa révolution synodique. L'orbite de Jupiter embrasse toutes celles dont nous nous sommes occupés jusqu'ici, et n'est inclinée que de 1° 18′ 51″,5 sur l'écliptique.

Sa distance moyenne au soleil égale 5,2 fois celle de la terre ou 79 500 000 myriamètres. Son diamètre apparent varie de 30″ à 47″ environ. Son diamètre réel égale 10,86 fois celui de la terre ou près de 14 000 myriamètres; de sorte que son volume est près de 1 300 fois celui de la terre. Jupiter n'a pas de phases, et, à plus forte raison, les planètes plus éloignées du soleil n'en ont pas non plus. En effet, la terre étant très-rapprochée du soleil relativement à la grande distance de Jupiter, les diamètres correspondants à l'hémisphère visible et à l'hémisphère éclairé font bien un angle réel, mathématiquement parlant, mais si petit, que les deux diamètres, et par suite les deux hémisphères, nous paraissent

coïncider. Tel un globe, situé à une certaine distance d'un flambeau, présente toujours un disque complétement éclairé à l'observateur très-voisin du flambeau relativement à la distance du globe. Jupiter nous offre donc toujours un disque arrondi; mais ce disque, vu au télescope, semble être traversé, dans une certaine direction constante, par des bandes ou zones obscures, variables seulement en grandeur (Planche III). On a reconnu que la planète avait un mouvement de rotation dans la direction de ses bandes, c'est-à-dire tournait de l'ouest à l'est autour d'un axe qui leur est perpendiculaire, dans la courte période de $9^{h.}\ 55'\ 50''$ en temps sidéral. Cette vitesse de rotation étant 2,4 fois aussi grande que celle de la terre, et le rayon de la planète égalant 10,86 fois celui de notre globe, un point de son équateur parcourt 26 fois plus d'espace qu'un point de l'équateur terrestre, dans le même temps. L'équateur de Jupiter se confondant presque avec l'écliptique, les jours doivent constamment y être presque égaux aux nuits, et la température à peu près invariable. Le plus long jour doit y être de 5 heures seulement. Les mesures les plus précises montrent que le rapport du diamètre équatorial au diamètre polaire est celui de 107 à 100. Jupiter est donc un sphéroïde analogue au globe terrestre; il est également entouré d'une atmosphère, où subsistent les bandes obscures, sans doute produites par des courants analogues à nos vents alisés. Cette atmosphère, nous réfléchissant les rayons du soleil, est la cause du grand éclat de la planète. A la distance de Jupiter, on ne doit voir le soleil que sous un angle de 6' au plus, et le disque solaire ne doit paraître avoir que $\frac{1}{27}$ de la surface qu'il présente à la terre. La lumière et la chaleur y sont donc 27 fois moindres.

Jupiter est sans cesse accompagné de quatre petits

corps ou planètes secondaires nommées *satellites*, qui font pour lui l'effet de lunes, tournant à l'entour de lui comme la lune autour de la terre, et dans la même direction de l'ouest à l'est. Celui qui s'en écarte le moins s'appelle le premier, et ainsi de suite. Le premier a, en nombre rond, 383 myriamètres de diamètre, le second 320, le troisième 540, et le quatrième 460. Quelquefois ces satellites passent sur le disque de la planète où ils se projettent sous la forme de taches noires bien terminées, d'où il suit que Jupiter et ses satellites sont également des corps opaques, non lumineux par eux-mêmes, et seulement visibles par la lumière solaire qu'ils réfléchissent. Cela résulte encore des *éclipses* des satellites, car lorsqu'ils entrent dans le cône d'ombre projeté par Jupiter dans la direction opposée au soleil, ils s'éclipsent graduellement quoique situés à une grande distance de la planète, et reparaissent après avoir traversé le cône d'ombre.

Lorsqu'un satellite vient à traverser le disque de Jupiter, il perd graduellement de son éclat, et disparaît totalement lorsqu'il arrive au centre; l'ayant dépassé sensiblement, il paraît d'abord pâle et augmente progressivement de clarté jusqu'à ce qu'il atteigne le bord, dont alors il surpasse l'éclat. Ces phénomènes prouvent évidemment que Jupiter est entouré d'une vaste atmosphère, obscurcissant, comme la nôtre, les corps qui s'y plongent.

140. Saturne a, comme Mars et Jupiter, un mouvement qui, vu de la terre, est très-irrégulier, et offre des stations et rétrogradations analogues. Il se meut autour du soleil dans une orbite dont le plan n'est incliné sur l'écliptique que de $2^{\circ}\,29'\,35'',7$, et qu'il parcourt en 10759 jours ou $29^{\text{ans}}\ 5^{\text{m.}}\ 14^{\text{j.}}$, ce qui fait environ 1° par mois. Sa révolution synodique, ou le

retour des oppositions, est de 378 j., et chaque fois la longitude augmente de 11° à 13°.

La distance moyenne de Saturne au soleil égale 9,539 fois celle de la terre ou 145 940 000 myriamètres. Son diamètre apparent varie de 16″,30 à 20″,12. Son diamètre réel égale 12 700 myriamètres ou à fort peu près 10 fois celui de la terre, de sorte que son volume est 1 000 fois celui de notre globe. Le disque de la planète offre 5 bandes parallèles, analogues à celles de Jupiter, quoique moins prononcées et dues à la même cause. L'observation de ses taches a montré qu'il tournait sur lui-même en $10^{h.}$ 29′ 17″. Son diamètre polaire est plus petit que le diamètre équatorial dans le rapport de 10 à 11. Par suite de son grand éloignement du soleil, la lumière qu'il nous réfléchit est pâle et plombée. Le soleil n'y doit être vu que sous un angle de 3′; il offre donc à cette planète une surface 90 fois plus petite qu'à la terre, et ne lui envoie, par conséquent, qu'une chaleur et une lumière 90 fois moindres. Les jours y sont courts, et le froid doit y être excessivement rigoureux.

Saturne est toujours accompagné de sept satellites assez difficiles à observer en raison de leur petitesse. Ils décrivent, d'occident en orient, des orbites à peu près circulaires, et presque situées dans le plan de l'équateur, excepté celle du 7ᵉ, qui s'en écarte un peu plus.

Saturne est en outre entouré d'un vaste anneau formé lui-même de deux anneaux concentriques, larges, plats et très-minces (Planche III). Ces anneaux ne sont séparés dans tout leur contour que par un très-petit intervalle constant; leur plan commun est parallèle aux bandes obscures de Saturne, et semble être le prolongement de son équateur, de sorte que l'axe de rotation de la planète, qui reste toujours parallèle à lui-même,

comme celui de la terre, est perpendiculaire au plan de l'anneau dont l'inclinaison, à très-peu près constante sur l'écliptique, est de 28° 40′. C'est la plus grande ouverture que nous puissions apercevoir à l'anneau s'offrant toujours obliquement à la terre. Il n'adhère nulle part à la planète, puisqu'on voit le ciel et les étoiles dans l'intervalle assez grand qui l'en sépare. L'anneau tourne dans son propre plan, de l'ouest à l'est, comme la planète, et dans la même durée de 10$^{h.}$ 29′ 17″. Son plan coupe celui de l'écliptique suivant une ligne faisant un angle de 170° avec celle des équinoxes ; ainsi les nœuds de l'anneau correspondent à 170° et 350° de longitude. Dans chacune de ces positions, le soleil est dans le plan de l'anneau, et la terre, s'en trouvant alors peu écartée, à cause de son grand éloignement, relativement à sa distance du soleil, y passe peu de temps avant ou après. Dans les deux cas, on perd l'anneau de vue ; mais, à l'aide d'un puissant télescope, on l'aperçoit encore sous la forme d'un filet lumineux très-fin, traversant le disque de la planète, et le dépassant des deux côtés ; la largeur de ce filet sert à mesurer l'épaisseur réelle de l'anneau, qui égale au plus 160 950 mètres, ou environ 16 myriamètres. La disparition de l'anneau, qui a lieu tous les 15 ans, reviendra pour la première fois en 1848. Cette disparition est ordinairement *double*, à cause de l'extrême lenteur du mouvement de Saturne, la terre passant *deux fois* dans le plan de l'anneau avant que Saturne ait quitté le plan de l'orbite terrestre. La planète s'avançant sur son orbite, le filet s'élargit de plus en plus en prenant progressivement la figure d'une ellipse qui atteint, à 90° des nœuds, sa plus grande largeur, par rapport à nous. Alors le petit axe de l'anneau est à peu près moitié du grand axe. L'ombre que l'anneau porte sur la planète prouve que tous deux sont des corps opaques, visibles seulement par

la lumière solaire qu'ils réfléchissent. Le soleil revient tous les 15 ans dans le plan de l'anneau. Ainsi, un même hémisphère a le soleil pendant 15 ans, et l'autre en est privé pendant le même temps, ce qui, joint à l'ombre portée par l'anneau, doit y répandre d'épaisses ténèbres, à peine momentanément dissipées par les satellites. L'anneau doit offrir à l'hémisphère éclairé l'apparence magnifique d'un arc immense partageant le ciel d'un bout à l'autre de l'horizon, et invariable par rapport aux étoiles. En menant des extrémités de l'anneau des tangentes à cet hémisphère, on y détermine une zone circompolaire de 26°, d'où l'on ne peut l'apercevoir. C'est la *force centrifuge* qui soutient le double anneau à la même distance de la planète. (Voyez notre Complément du Cours de Cosmographie, n° 124.)

141. Uranus se trouve tout à fait à la limite de notre système planétaire. Cette planète se présente sous la forme d'une étoile de 6ᵉ ou 7ᵉ grandeur, à peu près circulaire. Elle met $84^{ans}\ 8^{j.}\ 18^{h.}$ à parcourir son orbite inclinée seulement de 46′ 28″,44 sur l'écliptique.

Sa distance moyenne au soleil égale 19 fois celle de la terre, ou 293 490 000 myriamètres. Son diamètre apparent est d'environ 4″, et varie très-peu à cause de l'extrême éloignement de la planète. Son diamètre réel égale 4,33 fois celui de la terre, ou 5 500 myriamètres. Son volume est environ 80 fois celui de la terre. Le soleil ne doit y paraître que sous un angle de 1′ 40″; de sorte que la lumière et la chaleur doivent y être environ 400 fois moindres que sur la terre. Ainsi l'hiver de cette planète doit être excessivement rigoureux. Son aspect uniforme empêche de s'assurer si elle a un mouvement de rotation.

Flamsteed, qui l'observa le premier, la prit pour une étoile; mais, en 1781, Herschel reconnut son mouvement propre de l'ouest à l'est, et lui donna le nom d'*Ura-*

nus, qui prévalut sur celui d'*Herschel* donné plus tard par quelques astronomes. A l'aide de son plus puissant télescope, ayant 12 mètre de longueur et 1 mètre $\frac{1}{3}$ d'ouverture, il découvrit qu'Uranus a des satellites paraissant être au nombre de six; mais on n'a encore bien constaté l'existence que du 2e et du 4e, les seuls qui aient été revus. Ils se meuvent dans des orbites presque circulaires inclinées de 78° 58′ sur l'écliptique, et par conséquent *presque perpendiculaires* à son plan. En outre, leur mouvement est *rétrograde*, c'est-à-dire, dirigé de l'est à l'ouest. Ces deux remarquables exceptions, tant au mouvement de tous les corps de notre système, planètes ou satellites, qu'à l'inclinaison de leurs orbites peu écartées de l'écliptique, nous montrent qu'Uranus se trouve à la limite de notre système planétaire, et indiquent le passage à d'autres systèmes régis suivant des lois différentes.

142. Il nous reste à parler des quatre petites planètes ultra-zodiacales, Cérès, Pallas, Junon et Vesta, qui, étant peu éloignées entre elles, ont été regardées comme les éclats d'un même corps. Herschel ne partage pas cette opinion, qu'il regarde comme un *rêve innocent.*

Cérès et Pallas sont presque à la même distance du soleil, dont Junon et surtout Vesta sont un peu plus voisines. Mais on démontre qu'avant d'éprouver aucune perturbation, les orbites de ces planètes devaient se rencontrer en un même point de l'espace.

On n'est pas d'accord sur leur volume. Selon Herschel, le diamètre de Cérès est de 26 myriamètres, celui de Junon a 11 myriamètres, et Vesta, qui se présente comme une étoile de 5e grandeur, est au plus la 25 000e partie de la terre; c'est la plus brillante des quatre. Pallas, qui est plus grosse que les autres, est supposée presque égale à la lune. Voyez, pour les éléments de leur

mouvement, les tableaux du n° 203 renfermant ceux de toutes les planètes et de leurs satellites.

Cérès fut découverte par Piazzi de Palerme, le 1er janvier 1800; Pallas et Vesta, par Albert de Brême, en 1802 et 1807 ; Junon, par Harding de Gœttingue, en 1804. Cérès et Pallas paraissent environnées d'une atmosphère très-dense.

143. Les satellites sont, comme on l'a vu (139), des corps opaques accompagnant toujours leur planète, et formant avec elle un système particulier, qui est, pour ainsi dire, la miniature de notre système planétaire. Les satellites de Jupiter sont ceux qu'on a le plus étudiés, surtout à cause de leurs éclipses, qui nous fournissent des signaux naturels utiles dans plusieurs circonstances. Les satellites de Jupiter décrivent autour de lui des orbites presque situées dans le plan de son équateur, peu incliné d'ailleurs sur l'écliptique. Par conséquent, nous voyons ces orbites suivant des lignes droites traversant le disque de la planète. Les satellites paraissent osciller le long de ces lignes, et, à cause de leur proximité de la planète, ils sont toujours, ou au moins les trois plus voisins, totalement éclipsés à chaque révolution dans le vaste cône d'ombre que la planète projette dans la direction opposée au soleil.

Un satellite entrant dans le cône d'ombre perd sa lumière graduellement, et le temps qui s'écoule entre l'instant où il commence à s'obscurcir et celui où il disparaît complétement est égal au temps qu'il met à parcourir, dans son orbite, un arc égal à son diamètre apparent vu du centre de Jupiter. Ce temps est même plus grand, à cause de la pénombre qu'il parcourt avant d'atteindre le cône d'ombre, et où il commence à s'obscurcir; mais l'accroissement qui en résulte étant égal des deux côtés du cône d'ombre, c'est-à-dire, à l'époque de

l'immersion et de l'émersion, le milieu de l'intervalle de temps compris entre le premier degré d'obscurcissement et le recouvrement de l'éclat total, sera précisément le milieu de la durée de l'éclipse, et indiquera l'instant où le satellite est exactement en opposition avec le soleil. Le temps qui s'écoule entre deux éclipses ou deux oppositions consécutives, égale précisément la durée de la révolution synodique du satellite, d'où l'on conclura la période sidérale par le procédé indiqué pour obtenir celle de la lune (103). On trouve par là que les satellites décrivent autour de leur planète des orbites presque circulaires avec un mouvement presque uniforme. Ces satellites se surpassent alternativement en clarté, mais chacun d'eux, au moment de son plus grand éclat, est toujours situé au même point de son orbite; d'où il suit qu'ils tournent sur eux-mêmes dans un temps égal à la durée de leur révolution autour de la planète, et lui présentent constamment la même face, comme la lune à la terre, dont elle est le satellite.

144. C'est au moyen des éclipses du premier satellite de Jupiter que l'astronome danois Rœmer est parvenu à déterminer, en 1675, la vitesse de la lumière. Sachant d'avance à quelle époque les éclipses devaient avoir lieu, il trouva qu'elles arrivaient trop tôt quand Jupiter était en opposition, c'est-à-dire, dans sa position la plus voisine de la terre, et arrivaient au contraire trop tard, lorsque Jupiter était en conjonction, c'est-à-dire, dans sa position la plus éloignée de la terre. Rœmer trouva 16′ 26″,4 pour la différence du retard à la conjonction sur l'avance à l'opposition, et il fut naturellement conduit à l'attribuer à la différence de distance de Jupiter à la terre dans ces deux époques. Or, cette différence de distance égalant le diamètre de l'orbite terrestre, il jugea que la lumière se transmettait d'une manière non instan-

tanée, mais successive, et parcourait 310 219 178 mètres par seconde ou environ 31 000 myriamètres. Voyez, pour plus de détails, notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 146 à 149.

Cette prodigieuse vitesse de la lumière a été pleinement confirmée par la découverte de l'*aberration de la lumière* que nous exposerons plus tard (178).

145. Les éclipses des satellites de Jupiter, étant à la fois visibles pour tout un hémisphère, servent encore à déterminer exactement les longitudes terrestres (41). Supposons par exemple qu'on note à Paris l'instant où le premier satellite a disparu, c'est-à-dire, le milieu de l'éclipse. Si on le note aussi à Saint-Pétersbourg, la différence des temps donnera la différence des longitudes; mais il faut encore se communiquer les observations pour obtenir le résultat cherché. On évite le retard et l'inconvénient des communications, au moyen de tables où sont notés les instants des éclipses successives du satellite calculées à l'avance pour Paris, par exemple. Si donc on observe une éclipse à Saint-Pétersbourg, la différence du temps de l'observation au temps donné par les tables astronomiques de Paris donnera la différence des longitudes. Cette méthode est très-exacte, et on l'employait uniquement avant d'avoir porté la théorie de la lune à sa perfection actuelle. D'ailleurs elle est impraticable sur mer, parce qu'elle exige l'emploi d'un télescope qui ne laisse voir qu'un petit espace du ciel, et que les oscillations du bâtiment font à chaque instant sortir l'astre du champ de la lunette. C'est pourquoi la méthode lunaire des longitudes (123) est aujourd'hui exclusivement adoptée, parce qu'elle est à la fois très-exacte et praticable également sur terre et sur mer.

146. Enfin c'est par les éclipses de ces satellites qu'on a pu déterminer la distance de Jupiter; car notre terre,

vue de cette planète, doit avoir, à cause de son grand éloignement, des dimensions trop faibles pour qu'on puisse employer avec succès la parallaxe de Jupiter, qui est fort petite ($1''\frac{1}{2}$ à $2''$). Voici par quel procédé on est parvenu à déterminer sa distance. Supposons un triangle formé par les droites joignant les centres de Jupiter, du soleil et de la terre. Dans ce triangle, on connaît un côté qui est la distance du soleil à la terre, et l'angle adjacent formé par ce côté et celui qui joint la terre et Jupiter. Pour que le triangle soit déterminé, il reste donc à trouver le second angle adjacent au même côté, ou l'angle sous lequel on voit, du soleil, la distance angulaire de Jupiter à la terre. Or si l'on note, comme on l'a indiqué, le milieu de l'éclipse d'un satellite, à cette époque le satellite sera en opposition avec le soleil par rapport à Jupiter, et par conséquent sera vu, du soleil, dans la même position que le centre de la planète ; comme il décrit autour d'elle une orbite presque circulaire avec un mouvement presque uniforme, il est facile de trouver au milieu de l'éclipse sa position sidérale vue du centre de Jupiter, laquelle sera également celle de Jupiter vu du centre du soleil. Notre triangle étant ainsi déterminé, on en déduira les distances de Jupiter au soleil et à la terre exprimées en parties de la distance du soleil à la terre. (Voyez le n° 203.)

147. Les satellites de Saturne ont été bien moins étudiés que ceux de Jupiter, et l'on ne peut bien observer que le plus éloigné, qui, égalant environ Mars en grosseur, surpasse beaucoup les six autres; les deux derniers sont très-voisins de l'anneau, et visibles seulement pendant quelques instants avec de puissants télescopes, dans des circonstances particulières. La distance de Saturne se conclut d'une manière analogue à celle de Jupiter par les apparitions et disparitions de son anneau.

XXVII. — *Lois de Képler.*

148. On appelle *lois de Képler* les trois grandes lois qui régissent tous les corps célestes, et que Képler parvint à établir en consacrant presque toute sa vie à des observations astronomiques et surtout à des calculs numériques exigeant une patience et une persévérance extrêmes. N'ayant pas le secours des tables de logarithmes, qui sont d'une invention postérieure, il ne put trouver sa troisième loi qu'au bout de 28 ans des calculs les plus pénibles et les plus fastidieux, continués avec une constance et une ténacité dont il a fourni l'unique exemple.

C'est sur Mars que Képler établit ses deux premières lois du mouvement des planètes, en démontrant : 1° que Mars décrit autour du soleil une ellipse dont cet astre occupe l'un des foyers; 2° que, dans cette ellipse, les surfaces décrites par les rayons vecteurs autour de ce foyer sont proportionnelles aux temps employés à les parcourir.

Soit (fig. 51) T la terre, S le soleil, ♈ l'étoile qui correspond à l'équinoxe du printemps; à cause de la grande distance des étoiles, la droite T ♈ peut être considérée comme parallèle à S ♈ et servir à rapporter les positions successives du soleil et de Mars. Soit M la position de Mars à l'époque d'une de ses conjonctions, qu'on appelle une *position solaire,* comme lorsqu'il est en opposition, parce qu'alors, du centre de la terre, on voit la planète exactement dans la même direction que si l'on était transporté au centre du soleil. L'angle M S ♈ sera égal à l'angle M T ♈ qu'on peut mesurer de la terre, ce qui donne une position solaire de Mars. Soit S′ une autre position du soleil correspondante à une autre conjonction M′ de Mars; l'angle M′ S′ ♈ sera encore égal à l'angle M T ♈, et l'on rapportera sur le papier, à partir de T ♈, une nouvelle

position solaire de Mars; ainsi de suite. Chaque conjonction de la planète fournira donc une de ses positions solaires, et il en sera de même pour chaque opposition, tant pour les planètes supérieures, que pour les deux inférieures, offrant pour toute différence un point d'opposition situé entre la terre et le soleil, au lieu d'être de l'autre côté de la terre par rapport au soleil. Faisant une table de tous les angles observés de la terre, qui déterminent les positions solaires de Mars, et des instants auxquels toutes ces observations ont eu lieu, on trouve que les angles décrits par la planète autour du soleil sont exactement proportionnels aux temps employés à les décrire. Ce mouvement de la planète ainsi rapporté au soleil, et qu'on appelle *héliocentrique*, ne conserve donc aucune trace des irrégularités que nous lui voyons de la terre. En général, une position quelconque d'une planète est dite *héliocentrique* ou *géocentrique*, selon qu'elle est censée observée du centre du soleil ou du centre de la terre.

149. Il reste à trouver la loi du rayon vecteur mené de la planète au soleil. Soit (fig. 32) T la terre, S le soleil, M une position quelconque de Mars. Ces trois points forment un triangle dont il suffit de déterminer les angles, puisque la distance T S de la terre au soleil est connue pour tous les jours de l'année, et se trouve dans des tables dressées pour cet objet. Or l'angle M T S est donné par l'observation. En outre, comme on connaît pour tous les jours la position du soleil relativement à l'équinoxe, ou l'angle C S ♈ ou C T ♈, et que par la loi du mouvement angulaire de Mars proportionnel au temps, comme on vient de le voir, on peut déterminer jour par jour sa position héliocentrique rapportée à l'équinoxe, c'est-à-dire, M S ♈, la différence de ces angles T S ♈ — M S ♈ donnera un second angle T S M du triangle T M S qui sera donc entièrement déterminé. On en déduira donc

la longueur du rayon vecteur M S exprimée en fonction de la distance T S du soleil à la terre. Opérant de même pour tant de positions quelconques de Mars qu'on voudra, M′, M″,..... on aura les longueurs des rayons vecteurs correspondants exprimées au moyen de la distance du soleil à la terre prise pour unité. Par conséquent, si l'on projette les longueurs de ces rayons sur leurs directions respectives déterminées par les angles qu'ils forment avec la ligne des équinoxes, choisie comme droite invariable pour y rapporter les positions de Mars, et si l'on fait passer une courbe par tous les points ainsi marqués, on aura l'orbite que décrit Mars autour du soleil. Cette courbe s'est trouvée précisément être une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers. Képler ayant ainsi trouvé la nature de l'orbite de Mars, la supposa la même pour les autres planètes, ce que les observations ultérieures ont pleinement justifié.

150. Mars ne décrit pas son orbite d'un mouvement uniforme. Sa vitesse atteint le *maximum* au point le plus rapproché du soleil, et qu'on nomme *périhélie;* le *minimum* de vitesse a lieu à l'*aphélie*, ou point où il en est le plus éloigné. Képler, après un grand nombre d'essais, venant à comparer les vitesses journalières aux carrés des rayons vecteurs correspondants, trouva que leur produit était constamment le même pour chaque jour. La moitié de ce produit étant la mesure du secteur elliptique décrit en un jour par le rayon vecteur de Mars autour du soleil, il en résulte qu'à partir d'une certaine position du rayon vecteur, arbitrairement déterminée, les aires décrites par ce rayon sont proportionnelles aux temps. Cette loi est absolument la même que celle donnée par le mouvement angulaire du soleil (71), et se conclut de la même manière.

Après avoir trouvé ces deux lois, Képler chercha

celle qu'il soupçonnait devoir exister entre les temps des révolutions et les distances respectives des planètes ; et ce fut seulement au bout de 28 années d'essais infructueux qu'ayant essayé de comparer le carré du temps de la révolution au cube de la distance du soleil, il trouva un rapport constant pour toutes les planètes.

151. Voici donc les trois lois de Képler, d'où Newton a déduit ensuite la loi unique du système du monde :

1re LOI. — *Les orbites des planètes sont des ellipses dont le soleil occupe le même foyer commun.*

2e LOI. — *Les surfaces décrites par les rayons vecteurs autour de ce foyer sont proportionnelles aux temps mis à les parcourir.*

3e LOI. — *Les carrés des temps des révolutions des planètes sont entre eux dans le même rapport que les cubes de leurs distances moyennes au soleil.*

Remarquons que ces trois lois ont été trouvées sans faire aucune supposition sur le mouvement du soleil autour de la terre, ou de la terre autour du soleil, et uniquement déduites d'observations directes convenablement combinées par le calcul. Ces lois se vérifient également pour les satellites relativement à leur planète.

152. Si l'on se reporte à la figure 32, on verra que la détermination du triangle T M S fait connaître la valeur du côté T M, et par conséquent la distance de Mars à la terre exprimée en fonction de la distance du soleil à la terre, prise pour unité. Opérant de même pour chaque planète on a trouvé cette loi remarquable, appelée *loi de Bode :* si l'on écrit la suite des nombres 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, où chacun, excepté le second, est double du précédent, et si l'on ajoute 4 à ces nombres qui deviennent ainsi 4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, en représentant par 4 la distance de Mercure au soleil, les nombres suivants donneront précisément les distances

des autres planètes au soleil. Cette loi s'exprime ainsi qu'il suit :

4	7	10	16	28	52	100	196
☿	♀	♁	♂	⚳	♃	♄	♅

XXVIII. — *Des comètes.* — *Des aérolithes.* — *Des étoiles doubles.* — *Des nébuleuses.*

153. Les comètes, qui, par leurs apparitions subites et leurs dimensions considérables, répandirent une si grande consternation chez les anciens peuples, et qui même encore à des époques assez modernes ne manquèrent jamais d'exciter une terreur superstitieuse, ont été longtemps regardées comme des météores se mouvant dans notre atmosphère; mais la petitesse de leur parallaxe prouve qu'elles sont situées dans la région des astres. D'ailleurs elles obéissent à des lois fixes et constantes, qui sont celles de Képler, décrivant, probablement toutes, des ellipses dont le soleil est le foyer commun, et parcourant des espaces proportionnels aux temps. A la vérité ces ellipses sont tellement allongées ou excentriques, qu'on ne peut suivre les comètes que dans une petite partie de leur course. Elles pourraient à la rigueur parcourir des paraboles ou des branches d'hyperbole, et dans ce cas elles ne feraient qu'une seule apparition, après laquelle on les perdrait de vue pour toujours.

154. Les comètes se présentent sous un aspect extraordinaire, relativement aux autres corps de notre système. Leur *tête* est composée d'une masse de lumière plus ou moins éclatante, mais assez mal terminée, nommée *chevelure*, d'où est venu le nom de *comète* ou *astre chevelu*. Le centre de la tête offre au télescope un point bien plus brillant, semblable à une étoile et qu'on nomme *noyau*,

L'astre offre à sa suite, et dans une direction opposée à celle du soleil, un ou plusieurs appendices lumineux et quelquefois immenses qu'on appelle *queues*, semblables d'ailleurs à de longues traînées de vapeurs qu'il semble avoir abandonnées. Ces queues sont en général courbées vers le côté où la comète vient de passer. Les plus petites étoiles restent visibles, non-seulement à travers la queue de la comète, mais encore lorsqu'elles sont recouvertes par sa tête. Le télescope montre que ce que l'on prenait à l'œil nu pour le noyau de la comète n'est autre chose qu'une masse vaporeuse, ronde ou ovale, et plus condensée, mais sans offrir la moindre apparence de phases, et nous réfléchissant ainsi la lumière solaire, absolument de la même manière que les nuages. En outre, ces prétendus noyaux ne forment pas de taches en passant vis-à-vis le disque du soleil. On a cependant aperçu, dans quelques-uns, un très-petit point stellaire paraissant indiquer la présence d'un corps solide. On prétendit même avoir observé les phases de quelques noyaux, notamment sur la comète de 1680; mais le fait est loin d'être prouvé. La queue est d'abord très-peu sensible, mais, à mesure que la comète, augmentant de vitesse, s'approche du soleil, la queue s'accroît rapidement et paraît se diviser en deux branches latérales divergentes. La comète ayant dépassé le soleil diminue de vitesse, et acquiert son *maximum* d'éclat; la queue atteint sa plus grande longueur égalant quelquefois 90°; alors elle marche la première et devance la tête, mais bientôt diminue rapidement, et se confond avec la tête dont elle augmente la masse.

155. Les mouvements propres des comètes sont très-irréguliers, ayant lieu dans toutes les directions et sous toutes les inclinaisons, de sorte qu'ils sont tantôt directs, tantôt rétrogrades. Quelques-unes sont visibles seulement peu de jours, d'autres pendant plusieurs mois; les unes

ont un mouvement très-lent, d'autres une extrême rapidité s'élevant à 120° par jour, comme pour la comète de 1472. C'est seulement à partir de 1456 que les comètes ont été observées avec précision.

On ne peut reconnaître une comète à la vue, mais seulement par l'observation de son mouvement. Car la grande excentricité de l'orbite est seulement ce qui distingue une comète sans queue d'une véritable planète. Les comètes parcourent des ellipses très-excentriques, ou des paraboles dont le soleil occupe le foyer. Une ellipse qui serait parcourue par exemple en 3 000 ans et la parabole osculatrice coïncident dans une si grande étendue, qu'on ne pourrait distinguer laquelle des deux courbes la comète parcourt réellement, surtout eu égard au peu de temps qu'elle reste visible. Or il est plus facile de calculer la parabole osculatrice que l'ellipse elle-même; car pour obtenir la première, il suffit de faire trois observations, c'est-à-dire, de déterminer, trois jours consécutifs, la position de la comète, ce qui donne la position du plan de l'orbite, et par conséquent son intersection avec l'écliptique ou la ligne des nœuds; on connaît en outre le foyer, qui est le soleil. On aura donc le paramètre, le sommet, et la position du périhélie. Ces éléments serviront à reconnaître la comète si elle se montre à une autre époque, ce qu'on ne pourrait faire à sa seule inspection. En outre, il n'est pas probable que deux comètes différentes suivent exactement la même route dans l'espace, puisqu'elles offrent des directions si variées. Ayant calculé, trois jours consécutifs, la position d'une comète, la loi de son mouvement est déterminée; on peut donc en déduire la position qu'elle doit occuper le jour suivant, et on verra si l'observation donne le même résultat que le calcul. C'est en effet ce qui a toujours eu lieu.

156. Les tables ne donnent donc pas les éléments el-

liptiques des comètes, mais leurs éléments paraboliques, qui sont au nombre de cinq, savoir :

1° L'inclinaison du plan de l'orbite sur l'écliptique ;

2° La distance périhélie, qui fait connaître la distance du sommet de la parabole au foyer, et s'exprime en parties du rayon moyen de l'écliptique ;

3° La longitude du périhélie, qui fixe la position du sommet, et par conséquent celle du grand axe dans le plan de l'orbite ;

4° La ligne des nœuds, qui est donnée par la longitude du nœud ascendant, laquelle se compte sur l'écliptique ; le nœud ascendant suffit pour déterminer la ligne des nœuds, puisqu'elle passe par le soleil ;

5° Le sens du mouvement, c'est-à-dire, s'il est direct ou rétrograde.

On a vu jusqu'à présent environ 700 comètes ; il est probable qu'il en existe encore bien davantage, qui passent en général inaperçues parce qu'elles décrivent le jour la partie de leur orbite située au-dessus de l'horizon. Le nombre des comètes dont les élements paraboliques ont été calculés s'élève à 125. La parabole, étant une section conique qu'on peut regarder comme la limite des ellipses dont le grand axe s'allonge indéfiniment, a pu être employée pour représenter les mouvements elliptiques des comètes dans le peu de temps qu'elles sont visibles. Quelque allongé que soit l'axe de l'orbite d'une comète, il est certain qu'elle doit se rapprocher du soleil au bout d'une période déterminée, sauf le cas de grandes perturbations.

Une nouvelle comète a été découverte le 2 décembre 1839 à Berlin, par M. Petersen, attaché à l'observatoire de cette capitale. Depuis on en a encore découvert deux.

157. Les comètes dont on a déjà signalé le retour se nomment *périodiques*. Elles sont en fort petit nombre.

La plus célèbre est celle de *Halley*, qui fut observée en 1682 par l'astronome dont elle porte le nom. Halley détermina ses éléments qui se trouvèrent à peu près les mêmes que ceux des grandes comètes de 1531 et 1607 qu'il avait également calculés; d'où il conclut que ces trois comètes n'en faisaient réellement qu'une seule, revenant après une période de 75 ou 76 ans. Halley prédit donc son retour pour l'année 1759, ce qui eut lieu. C'est la même comète qui revint encore au périhélie au commencement de novembre 1835, comme MM. Damoiseau et Pontécoulant l'avaient fixé. Enfin cette même comète est encore celle qui causa tant d'épouvante en 1456, peu de temps après la prise de Constantinople par Amurath, les armées des Turcs menaçant alors les états chrétiens d'une ruine totale. Le grand axe de l'orbite de la comète égale 35, 9, en prenant pour unité la distance moyenne du soleil à la terre; sa distance périhélie est 0, 58.

158. Il existe encore deux petites comètes dont le retour périodique fut constaté par MM. Encke et Biela dont elles portent le nom. La comète d'Encke a un mouvement direct; elle décrit en 1207 jours, ou environ 3 ans et demi, une ellipse très-excentrique, inclinée de 14° 48′ sur l'écliptique. Elle fut observée à Marseille par M. Pons, le 26 novembre 1818; et M. Encke, qui calcula ses éléments, prédit ses retours périodiques; on l'observa en effet en 1822, 1825, 1828, 1832 et 1835. La durée de sa période va en diminuant, c'est-à-dire que la comète se rapproche de plus en plus du soleil, ce que M. Encke attribue à la résistance du milieu éthéré s'opposant à la marche de la comète, et par suite duquel elle doit finir par tomber dans le soleil. Le grand axe de son orbite égale 4,429, et son excentricité 0,846.

La comète de Biela fut découverte par cet astronome

le 26 février 1826, 10 jours avant M. Gambart, qui l'aperçut également à Marseille. C'est la même qui fut aussi observée en 1772, 1789, 1795, etc. Sa révolution est de 2461 jours ou 6 ans $\frac{3}{4}$. Son orbite, qui est inclinée sur l'écliptique de 13° 33′ 15″, a 0,74701 pour excentricité, et 3,56705 pour demi-grand axe; son dernier retour eut lieu en 1838. Elle passa en 1832 exactement un mois après la terre au même point de l'espace, de sorte que si elle avait accéléré sa marche d'un mois, elle l'eût infailliblement rencontrée.

C'est à Newton qu'on doit le procédé du calcul des éléments paraboliques, qu'il appliqua sur la comète de 1680. Sa distance périhélie est de 0,0063 ou à peu près 90 000 myriamètres. Elle met environ 575 ans à faire sa révolution.

159. On a reconnu sur la comète d'Encke, que le diamètre réel de la chevelure de ces astres, contrairement à toutes les lois connues, diminuait rapidement à mesure qu'ils s'approchaient du soleil, et se dilatait de même quand ils s'en éloignaient. M. Valz suppose, pour expliquer ce fait, que le soleil est entouré d'un milieu éthéré dont la densité augmente dans son voisinage, et par conséquent exerce sur l'atmosphère de la comète une pression d'autant plus grande qu'elle est plus rapprochée de lui. Voyez à la fin du Cours, sous le titre de *second appendice*, les causes des principaux phénomènes faussement attribués à l'influence des comètes.

160. Les *aérolithes* sont des masses minérales qui tombent quelquefois des hautes régions de l'atmosphère à la surface de la terre ; ce phénomène curieux observé déjà du temps de Tite-Live avait été révoqué en doute jusqu'au commencement de ce siècle. Leur existence ne fut bien constatée que par le mémoire du savant Biot, envoyé par l'Institut pour observer la pluie d'aérolithes

tombée en Normandie en 1803. La chute de ces corps est toujours précédée de l'apparition d'un globe enflammé se mouvant avec une extrême vitesse dans les couches très-rares de l'atmosphère. On a vu de ces globes qui avaient le même diamètre apparent que la lune, comme celui qu'on aperçut en 1807 dans le Connecticut, se mouvant avec la vitesse de $\frac{1}{2}$ myriamètre par seconde. Au bout d'un certain temps, ces globes éclatent avec un bruit analogue à celui de plusieurs violents coups de tonnerre, et font entendre ensuite un roulement moins prononcé et non interrompu, qui se termine par des sifflements causés par la chute rapide des fragments du globe. Presque tous les aérolithes offrent un aspect terreux et blanchâtre avec des scories extérieures. Ils sont ordinairement composés de fer, de nickel, de manganèse, de silice, de chaux, etc. Mais les métaux ne sont pas oxydés, et Berzélius n'y a jamais trouvé de substance hydratée. Ces pierres viennent donc d'un monde où il n'y a jamais eu d'eau.

La masse de fer natif tombée en Sibérie, et décrite par Pallas, pesait 700 kilogr. Celle observée par M. de Humboldt, dans la Nouvelle-Biscaye, paraît être du poids de 20 000 kilogr.

Laplace pense que les aérolithes proviennent des volcans lunaires. MM. Poisson et Biot ont calculé que si l'un d'eux lançait un corps vers la terre avec une vitesse de 2 500 mètres par seconde, ou égale environ à 5 fois celle d'un boulet de 24, ce corps tomberait sur la terre. Or cette vitesse est celle qu'on a reconnue à nos volcans dans les dernières éruptions.

Lagrange et Gay-Lussac pensent que les aérolithes sont de petites planètes qui ont échappé jusqu'alors à nos regards, et qui, venant à s'engager dans notre atmosphère, éprouvent, par le contact de l'air, une élévation

de température capable d'en déterminer l'explosion.

161. Les *étoiles filantes*, aussi nommées *astéroïdes*, sont regardées comme ayant la même origine que les aérolithes. Suivant Maskelin, ces petits corps planétaires s'enflamment en entrant dans notre atmosphère, mais ont en général une vitesse assez grande pour ne pas s'y arrêter. Cependant M. Roze observa dans les Alpes la chute d'une étoile filante qui se brisa contre une montagne. Les étoiles filantes sont bien plus nombreuses dans l'hémisphère boréal, que dans l'hémisphère austral.

Chaque année nous rencontrons sur l'écliptique, vers le 10 août et le 13 novembre, deux courants ou essaims d'étoiles filantes, dites, pour cette raison, *périodiques*. Ils s'interposent entre la terre et le soleil, l'un, du 5 au 11 février, l'autre, du 10 au 13 mai. Selon M. Ermann de Berlin, chaque conjonction opère *annuellement* une extinction très-notable dans les rayons calorifiques du soleil, et fait baisser la température sur toute la surface du globe. Il est même arrivé que le soleil s'est trouvé totalement effacé, de sorte que les étoiles ont brillé en plein jour. Les astéroïdes d'août (et probablement aussi ceux de novembre) ne forment pas dans leur orbite un groupe circonscrit, mais y sont presque uniformément répartis, de manière que leurs emplacements respectifs semblent constituer une espèce d'anneau le long de l'orbite.

162. On appelle *étoiles doubles* celles qui, examinées au télescope, se résolvent en deux ou même trois étoiles très-voisines. Le grand nombre d'étoiles doubles observées ne permet pas de supposer qu'un tel rapprochement soit purement accidentel. On a donc été conduit à les regarder comme des systèmes stellaires, formés de deux étoiles réunies par des lois particulières, et cette conjecture a été pleinement vérifiée par des observations précises. William Herschel, à qui la science est rede-

vable de cette branche importante, observa plus de 500 étoiles doubles, qu'il répartit en quatre classes, d'après leur degré d'écartement, celles de la première, au nombre de 97, étant à moins de 4″ de distance, et celles de la quatrième, au nombre de 132, ayant une distance de 16″ à 32″. Herschel reconnut dans un certain nombre de ces systèmes que l'une des composantes avait un mouvement de révolution autour de l'autre, et assigna même la durée de la période. Ainsi, dans l'étoile γ du Lion, la composante doit accomplir sa révolution en 1 200 ans; celle de Castor est fixée à 253 ans; l'étoile η de la Couronne a déjà même accompli en 1830 sa période, qui est de 43 ans.

Le nombre des étoiles doubles s'est bien accru depuis leur découverte, et le dernier catalogue de M. Struve le porte à 3 057, ce qui est énorme relativement à la totalité des étoiles observées. Il compte aussi 52 étoiles triples.

Voici les résultats obtenus pour les étoiles doubles :

NOMS des étoiles doubles.	RÉVOLUTION de la petite étoile autour de la grande.	DEMI-GRAND AXE de l'orbite.	EXCENTRICITÉ de l'orbite.
η de la Couronne.	43 ans.	—	—
ζ du Cancer.	55	—	—
ξ de la Grande Ourse.	58	8″,9	0,4161
70ᵉ d'Ophiucus.	80	4 ,4	0,4667
ξ du Bouvier.	117	12 ,7	—
Castor.	253	8 ,1	0,7582
σ de la Couronne.	287	3 ,7	0,6113
61ᵉ du Cygne.	452	15 ,4	—
γ de la Vierge.	629	12 ,1	0,8335
γ du Lion.	1200		

On remarque, en outre, le contraste des couleurs complémentaires dans plusieurs étoiles doubles*, dont la plus grande est ordinairement rouge ou orangée, et la plus petite bleue ou verte. Voyez, pour plus de détails sur les étoiles doubles et sur le parti qu'on peut espérer d'en tirer pour déterminer la vraie distance des étoiles, notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 158 à 165.

163. Des observations exactes mettent hors de doute que les étoiles ne sont pas exactement fixes, mais soumises à des déplacements, qui, pour être très-lents, n'en sont pas moins réels. Ainsi les deux étoiles formant l'étoile 61 du Cygne, et qui sont de même grandeur, ont conservé depuis 50 ans leur même distance de 15″, mais se sont déplacées ensemble sur le ciel de 4′ 25″ pendant cet intervalle de temps. L'étoile μ de Cassiopée, qui est simple, a un mouvement propre annuel de 3″,74. William Herschel pense que l'ensemble des étoiles composant la sphère céleste est entraîné par un mouvement général vers le point du ciel diamétralement opposé à l'étoile ζ d'Hercule.

164. On appelle en général *nébuleuses* des taches blanches de forme irrégulière et de grandeur variable, qu'on aperçoit çà et là sur la voûte du ciel, par une nuit sereine. Herschel a donné, en 1833, le catalogue de 2 306 nébuleuses réparties en trois classes, ainsi qu'il suit :

1° Les *amas d'étoiles*, qui ne sont autre chose que des

* L'observation des étoiles doubles offre le meilleur moyen d'essayer les grandes lunettes, indispensables dans tous les observatoires, et coûtant au moins de 30 à 40 mille francs sans la monture. Car si l'on sait, par exemple, qu'avec un grossissement de 200 fois on doit séparer complétement les deux étoiles aujourd'hui si voisines, formant l'étoile σ de la Couronne, on peut être certain que toute lunette, qui n'opère pas leur séparation complétement, est inférieure à celle qui donne ce résultat.

étoiles très-rapprochées, comme le groupe des Pléiades ; ce groupe n'offre à l'œil nu que 6 à 7 étoiles, et 50 à 60 au télescope. La *chevelure de Bérénice* est également composée d'un grand nombre d'étoiles plus brillantes et plus écartées. Herschel a observé des amas globulaires n'excédant pas 8′ à 10′ de grandeur angulaire, et qui devaient contenir 8 à 10 mille étoiles. La *voie lactée* est une immense nébuleuse qui traverse le ciel d'un bout à l'autre de l'horizon en passant par les constellations de l'Aigle, du Cygne, de Céphée, d'Andromède, etc. ; le télescope a montré qu'elle était composée de milliers de petites étoiles tellement rapprochées, que, selon Herschel, un espace de 15° de long sur 2° de large en contient plus de 50000. Les anciens regardaient la voie lactée comme la ligne de réunion des deux hémisphères célestes.

2° Les *nébuleuses résolubles*, où l'état actuel de nos télescopes ne nous permet pas encore de découvrir des étoiles, mais où probablement on en découvrira plus tard, quand on aura augmenté leur pouvoir.

3° Les *nébuleuses* proprement dites, ou qui probablement ne peuvent pas se résoudre en étoiles. Herschel les divise en trois sections, les *nébuleuses planétaires*, offrant, ainsi que les planètes, un disque rond ou ovale uniformément lumineux, comme celle d'Andromède, dont le disque circulaire s'élève à 12″; les *nébuleuses stellaires*, dont l'éclat croissant uniformément, à partir des bords, acquiert au centre son *maximum* d'intensité ; enfin, les *étoiles nébuleuses*, offrant l'apparence d'une étoile brillante entourée d'un disque pâle et non uniforme.

CHAPITRE SIXIÈME.

—

MOUVEMENTS RÉELS DE LA TERRE.

—

XXIX. — *Preuve du mouvement de rotation de la terre sur son axe.*

165. Nous avons vu que la sphère céleste paraissait tourner autour de la terre par un mouvement diurne dirigé d'orient en occident, et accomplissait une révolution entière dans l'intervalle d'un jour sidéral ou de 24 heures. Si l'on réfléchit aux distances immenses et inégales qui séparent les corps célestes, tels que le soleil, les planètes et les étoiles, d'ailleurs isolés entre eux, et soumis en particulier à de grands changements de distances, comme le prouvent les variations de leurs diamètres apparents, on pourra difficilement supposer qu'une même cause imprime à tous ces corps un mouvement commun de révolution. Mais une telle hypothèse devient totalement absurde et tombe d'elle-même, si l'on calcule les vitesses qui en résulteraient pour les corps célestes. En effet dans cette hypothèse, le soleil, 1 400 000 fois plus gros que la terre, parcourrait 1 000 myriamètres par seconde, Jupiter, près de 1 300 fois plus gros que la terre, parcourrait 6 000 myriamètres par seconde; Saturne, 12 000 myriamètres, et Uranus, 25 000 myriamètres par seconde. Mais ceci n'est rien ; dans la même hypothèse du mouvement diurne de la sphère céleste, les étoiles les

moins éloignées de la terre auraient à parcourir 450 millions de myriamètres par seconde, et les autres, des espaces que nous ne pouvons concevoir. Or, il y a des étoiles bien plus grosses que le soleil ; et quelle force serait capable de les retenir dans leurs orbites avec cette inimaginable vitesse ?

166. Ces difficultés insurmontables s'évanouissent dès qu'on attribue à la terre un mouvement de rotation de l'ouest à l'est en 24 heures. Toutes les apparences des phénomènes célestes s'expliquent d'ailleurs également dans cette hypothèse ; en effet, le lever du soleil ne sera plus produit par cet astre, qui, dans sa course diurne dirigée d'orient en occident, atteindra tel horizon de la terre en repos, mais par l'horizon lui-même, qui, par suite du mouvement de rotation de la terre dirigé d'occident en orient, viendra passer par le soleil immobile. Il en sera de même pour les étoiles, qui, par suite des variations de l'horizon, seront successivement situées au-dessous de son plan, ou dans ce plan, ou au-dessus, et qui seront donc respectivement invisibles, à leur lever ou à leur coucher, ou visibles. Chaque horizon, ou plutôt sa méridienne, décrira une surface conique dont la moitié de l'angle au centre sera la hauteur du pôle au-dessus de l'horizon, et les étoiles contenues dans l'intérieur de cette surface ne se coucheront jamais. La rotation de la terre explique toujours également bien tel phénomène céleste que l'on veut considérer.

167. Les voyages prouvent, comme nous l'avons vu, que la terre est un globe isolé dans l'espace, et dont une foule de navigateurs ont fait le tour. Un corps abandonné à lui-même tombe sur la terre, mais la terre ne peut tomber dans l'espace ; car tout ce qu'on dirait pour prouver qu'elle doit tomber d'un côté s'appliquerait à prouver qu'elle doit tomber de mille autres côtés. La cir-

conférence de son équateur étant de 4 000 myriamètres environ, un point de cette circonférence, où la vitesse doit être la plus grande, parcourt donc en une seconde 4 000 myriamètres divisés par 24 heures ou 86 400 secondes, c'est-à-dire, environ 462 mètres (exactement 463$^{m.}$, 73). Si l'on rejette la réalité de ce mouvement, il faut nécessairement admettre les 450 millions de myriamètres des étoiles par seconde. D'ailleurs, la vitesse à l'équateur, quoique assez considérable, n'a rien qui doive nous étonner, puisque nous avons reconnu la réalité d'un pareil mouvement à Vénus, presque aussi grosse que la terre, et d'un mouvement bien plus considérable à Jupiter, qui tourne sur lui-même en dix heures, quoique 1 300 fois plus gros que la terre. Enfin la sphère céleste doit offrir à chaque planète exactement les mêmes apparences qu'à la nôtre, et cette seule considération suffirait même pour démontrer l'absurdité d'un mouvement réel de la sphère céleste, puisqu'il ne pourrait s'effectuer en même temps autour de planètes différentes, et surtout en des périodes inégales.

168. Il existe encore une foule de preuves du mouvement réel de rotation de la terre autour de son axe. Nous allons passer en revue les principales, en commençant par le phénomène des *vents alisés*, dont les vaisseaux profitent pour aller d'Europe en Amérique. On nomme ainsi deux vents qui soufflent sans interruption, l'un dans la direction du nord-est, et l'autre dans celle du sud-est. Quelques exceptions locales, récemment signalées et sur lesquelles l'Académie des sciences vient d'attirer l'attention des navigateurs, n'altèrent en rien les conséquences du phénomène général. La terre étant plus échauffée entre les tropiques que dans les autres zones, par suite de la direction presque perpendiculaire des rayons solaires, doit causer une plus grande dilatation aux couches

inférieures de l'atmosphère en contact avec la surface du sol ; cet air ainsi dilaté devient plus léger et s'élève verticalement en s'éloignant de la terre. Il est alors remplacé par deux courants d'air plus froid venant des régions polaires, et qui ont lieu dans les couches inférieures en rasant la surface de la terre. L'air échauffé des tropiques, s'étant élevé jusqu'à la limite de son niveau naturel, se répand à droite et à gauche vers les pôles, où il se refroidit par degrés ; de là il revient bientôt vers les tropiques pour combler le vide causé par l'élévation des couches qui lui avaient succédé dans cette région, de sorte qu'il s'établit deux courants continuels, l'un à la surface même de la terre, et dirigé des pôles à l'équateur, l'autre à la limite de l'atmosphère et dirigé de l'équateur aux pôles.

La terre tournant de l'ouest à l'est autour de la ligne des pôles, les points de sa surface augmentent graduellement de vitesse à partir des pôles, où elle est nulle, jusqu'à l'équateur, où elle atteint son *maximum*, et comme les couches d'air, dont la terre est entourée, participent au mouvement du lieu où elles se trouvent, il en résulte que les courants partis des pôles, étant arrivés entre les tropiques, tourneront moins vite que la surface au-dessus de laquelle ils se trouveront alors. Cette différence de vitesse produira sur les objets situés entre les tropiques une action dirigée en sens contraire du mouvement de la terre, c'est-à-dire, de l'est à l'ouest. Ainsi les courants polaires, qui, sans la rotation de la terre, auraient causé de simples vents nord et sud, prennent, par suite de cette rotation, une direction très-marquée vers l'ouest, et produisent ainsi des vents constants de nord-est et de sud-est, qui sont précisément les vents alisés. A l'équateur même, les deux courants polaires, agissant dans des directions opposées et avec des vitesses égales, doivent se faire équilibre ; de sorte qu'il ne doit y régner aucun vent d'est :

c'est ce qu'on remarque en effet. Les vents alisés, qui doivent uniquement leur existence au mouvement de rotation de la terre, et n'existeraient pas si ce mouvement n'avait pas lieu, servent donc à en démontrer la réalité.

169. Ce mouvement de la terre peut encore se prouver par les effets de la *pesanteur*. On donne ce nom à la force qui détermine la chute des corps abandonnés à eux-mêmes un peu au-dessus du sol. Cette force agit toujours dans une direction verticale, c'est-à-dire, perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles. Si l'on suppose la terre immobile, un corps abandonné à lui-même tombe toujours verticalement. Si l'on admet la rotation de la terre, et que le point d'où l'on abandonne le corps soit peu élevé au-dessus du sol, sa chute a encore lieu dans la direction de la verticale. En effet, le corps étant soumis dès l'origine de son mouvement à deux forces qui sont, l'une la pesanteur agissant selon la verticale, l'autre la *force centrifuge* provenant de la rotation de la terre, et tendant à imprimer au corps une vitesse horizontale égale à celle du point de la surface terrestre situé au-dessous de lui, il en résulte que le corps se dirigera selon la diagonale du rectangle construit sur ces forces, et par conséquent tombera encore verticalement, puisque le point terrestre correspondant au point de départ sera venu au point de chute, par suite de la rotation de la terre. Tel un corps, abandonné du haut du mât d'un vaisseau en mouvement, vient tomber au pied du mât, comme dans le cas de l'immobilité du vaisseau. Cependant un observateur placé sur le rivage lui voit décrire réellement une diagonale oblique, analogue à celle dont nous venons de parler. Mais lorsque le corps est situé à une certaine hauteur au-dessus du niveau des mers, comme la force centrifuge est à ce point plus considérable qu'au point correspondant de la surface de la terre, et que la pesan-

teur est au contraire à peu près la même pour tous deux, le corps, se trouvant sollicité par ces deux forces, dès qu'il est abandonné à lui-même, doit tomber à l'est de la verticale, et d'autant plus loin, qu'il était plus élevé au-dessus du niveau des mers. Les faits étant toujours parfaitement conformes aux résultats déduits, par le calcul, de la rotation de la terre, il est évident que ce mouvement de rotation a réellement lieu.

170. En outre, on a reconnu, par des expériences précises et variées, que la pesanteur diminuait sensiblement et progressivement en allant du pôle à l'équateur, ce qui donne encore une preuve des plus convaincantes de la rotation de la terre. Cette diminution peut se vérifier de trois manières principales. La première consiste dans l'emploi d'un ressort métallique en forme de G portant un poids à son extrémité supérieure; si l'on mesure l'ouverture du ressort à l'équateur, et, successivement, à des stations de plus en plus rapprochées du pôle, on trouve que cette ouverture diminue de plus en plus par l'effet de la pesanteur, qui, augmentant la force du poids, à mesure qu'on s'avance vers les pôles, rapproche de plus en plus l'extrémité supérieure de l'inférieure.

Le second procédé, bien supérieur au premier, est dû à l'emploi du baromètre. Le mercure augmentant de pesanteur en allant de l'équateur au pôle, la colonne diminue progressivement de longueur dans l'intervalle de ces deux stations extrêmes, et l'échelle graduée fait connaître les variations qui en résultent.

Le dernier moyen, qui est susceptible d'une très-grande exactitude, est fourni par le *pendule*. Lorsqu'on le règle à l'équateur de manière à obtenir une oscillation par seconde, ou 86400 en 24 heures, on trouve que ce nombre augmente progressivement à mesure qu'on s'avance vers les pôles. A Paris, par exemple, le pendule

fait 86525 oscillations en 24 heures; la pesanteur à l'équateur et à Paris est donc dans le rapport du carré des nombres respectifs d'oscillations, ou dans celui de 1 à 1,00285.

Ces trois procédés donnent exactement, pour l'aplatissement polaire du globe, la même valeur numérique de $\frac{1}{305}$ du diamètre équatorial. Or les dimensions de la terre et le temps de sa rotation étant connus, il est facile de déterminer la valeur de la force centrifuge, qui est nulle au pôle et atteint à l'équateur $\frac{1}{289}$ du poids du corps. En outre, la loi de la pesanteur est donnée. Calculant, d'après ces principes, la figure qui convient à l'équilibre de la terre supposée d'abord à l'état de fusion comme tout l'indique, et tournant uniformément sur son axe en 24 heures, on trouve un ellipsoïde ne différant de celui donné par l'ensemble des observations que par une quantité minime provenant de notre ignorance absolue de l'intérieur du globe. Donc la forme elliptique de la terre est une conséquence immédiate de son mouvement de rotation, sans lequel on ne pourrait l'expliquer. Le mouvement de rotation des planètes est également cause de leur aplatissement dans le sens de leur axe, comme on l'a déjà reconnu principalement pour Jupiter et pour Saturne.

171. Concluons de toutes ces preuves accumulées, que la terre a réellement un mouvement de rotation autour de la ligne des pôles et dirigé de l'occident à l'orient, en vertu duquel elle accomplit un tour entier en 24 heures, et nous découvre successivement différentes parties de la sphère céleste. Tel un bateau, entraîné par le courant d'un fleuve rapide, offre au navigateur l'apparence de rivages s'enfuyant derrière lui; mais sa raison l'avertit bientôt que les nombreux objets qu'il aperçoit près des rives, étant indépendants les uns des autres et situés à des distances très-diverses, ne peuvent être emportées

ainsi par un mouvement commun qui les transporte ensemble derrière lui; de sorte qu'il est forcé d'attribuer cette illusion à la marche du bateau, qu'il pourrait sans cela croire immobile, au moins momentanément, et qu'il croirait réellement tel s'il avait toujours les yeux fermés.

Comme le préjugé de l'immobilité de la terre était enraciné depuis fort longtemps, le système de Copernic fit soulever, à sa naissance, une foule d'objections. On alla même jusqu'à invoquer l'autorité de la Bible, où il est dit que Josué commanda au soleil de s'arrêter, ce qu'il ne pourrait faire, dit-on, si le soleil ne se mouvait pas réellement. Mais on ne doit évidemment regarder ces paroles que comme une expression du langage ordinaire. Les astronomes disent bien maintenant, le soleil se lève, le soleil se couche, et mettent dans les almanachs les heures du lever et du coucher du soleil, quoiqu'ils sachent bien que le soleil est immobile; ils se servent ainsi des apparences pour se conformer au langage reçu dans la société : et si un astronome voulait indiquer l'heure du lever du soleil à Paris, en disant : « le plan de l'horizon, qui fait avec l'axe du monde un angle de 48° 50′ 13″, 2, viendra se diriger sur le soleil à une certaine heure, par son bord oriental », certainement il serait compris de bien peu de personnes. D'ailleurs l'auteur de la Bible n'a pas eu l'intention de tout exprimer avec une vérité mathématique; car il y est bien dit aussi qu'un vase a un pied de diamètre et trois pieds de tour, absolument de la même manière qu'on dit, de nos jours, qu'un cercle de 1 mètre de rayon a 3 mètres de circonférence. Or tout le monde sait que le rapport de 3 à 1 est la plus grossière approximation de celui de la circonférence au diamètre, rapport d'ailleurs incommensurable et qui est égal à 3,1415....

XXX. *Preuve du mouvement de translation de la terre autour du soleil. — Explication des saisons et de l'inégalité des jours dans cette hypothèse.*

172. Nous venons d'établir que la terre a un mouvement de rotation exactement semblable à celui qu'on a déjà reconnu dans toutes les planètes, et dirigé de même de l'occident à l'orient. Pour que l'analogie soit complète, il faut que la terre ait également un mouvement de translation autour du soleil, comme les lois de Képler, obtenues sur des observations directes et indépendamment de toute hypothèse sur le repos ou le mouvement de la terre, l'établissent pour les planètes. Or il est très-difficile d'admettre que le soleil, foyer commun de toutes les ellipses des planètes, les entraîne réellement avec lui dans un mouvement annuel autour de la terre. A quoi bon tout cet échafaudage, si péniblement élaboré autour d'un grain de sable immobile dans l'espace ?

L'observation journalière du soleil nous a montré que, vu de la terre, il se projetait chaque jour sur une étoile différente, en nous offrant un diamètre apparent variable, et qu'il paraissait ainsi décrire, autour de la terre comme foyer, une ellipse dont le rayon vecteur parcourait des surfaces égales dans des temps égaux. Or ces apparences restent identiquement les mêmes, si l'on suppose le soleil immobile et la terre en mouvement. Celle-ci décrit alors autour du foyer commun des planètes une ellipse dont le rayon vecteur parcourt des espaces égaux dans des temps égaux, et vérifie parfaitement les deux premières lois de Képler. En outre, elle satisfait également à la troisième loi, puisque le carré du temps de sa révolution, qui est de 365^{j}, 25, est au carré du temps

de la révolution d'une quelconque des planètes, dans le rapport des cubes des distances moyennes de la terre et de cette planète au soleil.

173. De là résulte en faveur du mouvement annuel de la terre une très-forte présomption qui ne tarde pas à se changer en certitude, si l'on réfléchit aux énormes vitesses que devraient avoir, dans leur mouvement autour de la terre en repos, Jupiter, la plus grosse des planètes, Saturne, dix fois plus loin que le soleil, et surtout Uranus, reculé à la limite de notre système, dont nous avons déjà calculé les orbites autour du soleil. Or, cette extrême complication de mouvements, incompréhensibles d'ailleurs, disparaît, dès qu'on admet le mouvement de translation de la terre autour du soleil.

174. Dans cette même hypothèse, les stations et les rétrogradations des planètes, autrement inexplicables, deviennent un fait très-facile à concevoir, et résultent immédiatement de la différence de leur mouvement par rapport à celui de la terre. Les anciens, qui avaient remarqué ces stations et rétrogradations, s'en rendaient compte en supposant que les planètes se mouvaient dans des cercles dont le centre parcourait un autre cercle, et qu'ils nommaient pour cette raison *épicycles ;* mais chaque fois qu'on découvrait de nouvelles irrégularités dans les mouvements planétaires, il fallait, pour les expliquer, entasser les épicycles l'un sur l'autre. D'ailleurs ce système tombe de lui-même, se trouvant en contradiction avec les variations des diamètres apparents, que les anciens, privés de lunettes et de micromètres, ne pouvaient observer. Copernic, astronome prussien, né à Thorn, frappé de cette extrême complication du système de Ptolémée, trouva dans les écrits d'Aristote que les Pythagoriciens mettaient le soleil au centre du monde, et faisaient tourner la terre et les autres planètes autour de lui. Avant

mûri cette opinion, et comparé toutes les observations astronomiques connues, il en conclut le vrai système du monde qu'il publia dans ses *Révolutions célestes*. (Voyez, pour plus de détails sur le *système des épicycles*, notre Complément du Cours de Cosmographie, n° 141.)

175. Voyons maintenant à quoi se réduisent les stations et les rétrogradations des planètes, et prenons Vénus pour exemple. Cette planète a, comme Mercure, une vitesse bien plus grande que la terre ; car en comparant les circonférences des orbites aux temps des révolutions sidérales, on trouve que la vitesse de Mercure est de 294 myriamètres (exactement 293,765) par minute ; celle de Vénus de 215 myriamètres (exactement 214,902), et celle de la terre de 183 myriamètres (exactement 182,772). Par conséquent, si l'on prend des arcs égaux entre eux pour représenter les déplacements journaliers moyens de la terre sur son orbite, les mêmes déplacements seront représentés sur l'orbite de Vénus par des arcs égaux entre eux, mais plus grands que les premiers. A l'époque de la conjonction inférieure, nous rapportons Vénus et le soleil à un même point du ciel ; alors la terre et Vénus se meuvent dans le même sens et presque perpendiculairement au rayon visuel mené de l'une à l'autre ; mais Vénus, ayant une plus grande vitesse, parcourra dans le même temps un arc bien plus grand que la terre ; par conséquent, le lendemain de cette conjonction, nous rapporterons sur le ciel la position du soleil à un point situé en avant du premier, et la position de Vénus, au contraire, à un point situé en arrière, de sorte que le mouvement de Vénus nous paraîtra rétrograde. Il en sera encore de même les jours suivants par la même raison, jusqu'à ce que l'obliquité du mouvement de Vénus, parcourant une orbite intérieure à celle de la terre, vienne à compenser exactement l'excès de sa vitesse, et

fasse avancer parallèlement à lui-même le rayon visuel mené de la terre à Vénus, qui nous paraîtra donc alors stationnaire. Cette planète, continuant à s'avancer sur son orbite, devance la terre à cause de sa plus grande vitesse, et son mouvement rapporté aux étoiles devient direct.

L'époque de la station arrive entre la conjonction inférieure, où le mouvement de Vénus est rétrograde, et celui de sa plus grande élongation, où il est direct. Le mouvement de Vénus est alors direct, parce que celui de la terre est presque perpendiculaire au rayon visuel mené de la terre à Vénus, dont la vitesse est plus considérable. A l'époque de la conjonction supérieure, nous projetons Vénus et le soleil en un même point du ciel; mais comme elle se meut alors en sens contraire de la terre, avec une vitesse plus grande, et que les deux mouvements sont perpendiculaires au rayon visuel, elle paraîtra le lendemain s'être avancée plus que le soleil sur la sphère céleste, et son mouvement sera direct. Il en sera de même les jours suivants, jusqu'à ce qu'enfin son mouvement étant devenu assez oblique, par rapport au rayon de projection, pour compenser l'excès de sa vitesse, le rayon reste un certain temps parallèle à lui-même, et semble, pendant ce temps, rencontrer la sphère céleste en un même point; alors Vénus paraîtra de nouveau stationnaire, après quoi son mouvement deviendra rétrograde jusqu'à la conjonction inférieure, et l'on verra recommencer la même série d'apparences dues aux mêmes causes.

176. Les stations et rétrogradations des planètes supérieures ne sont pas plus difficiles à expliquer. La vitesse de la terre, qui est de 185 myriamètres par minute, est plus considérable que celle de ces planètes, de Jupiter, par exemple, qui parcourt un arc seulement de 80

myriamètres par minute, et par conséquent n'atteignant pas la moitié de l'arc parcouru par la terre dans le même temps. Jupiter se trouvant en opposition, nous le projetons sur un point du ciel diamétralement opposé au soleil; alors son mouvement a lieu dans le même sens que celui de la terre, et tous deux sont presque perpendiculaires au rayon de projection; comme il parcourt en un jour un arc plus petit que la terre, le lendemain nous rapporterons sa position à un point du ciel situé en arrière du premier, de sorte que son mouvement nous paraîtra rétrograde. Il en sera de même les jours suivants, jusqu'à ce que le mouvement de la terre, qui parcourt une orbite intérieure à celle de Jupiter, devenant assez oblique par rapport au rayon de projection pour compenser l'excès de sa vitesse, ce même rayon reste parallèle pendant un certain temps, qui égale ici 19 jours, et semble, vu la grande distance des étoiles, rencontrer la sphère céleste au même point. Alors Jupiter nous paraîtra stationnaire pendant tout cet intervalle de temps; il prendra ensuite un mouvement apparent direct qu'il conservera jusqu'à ce que, se rapprochant de l'opposition, le rayon de projection reste encore de nouveau parallèle à lui-même. Jupiter paraîtra donc de nouveau stationnaire, et, après cette seconde station, reprendra son mouvement rétrograde qu'il conservera jusqu'à l'opposition. Il en est de même pour les autres planètes supérieures, comme Saturne et Uranus dont le mouvement est encore plus lent (59,197 et 41,731 myriamètres par minute), parce qu'elles sont plus éloignées du soleil, ce qui rend plus fréquentes leurs oppositions, et, par suite, leurs stations et rétrogradations.

177. Ces stations et rétrogradations, déterminées par le calcul dans la supposition du mouvement elliptique de la terre autour du soleil, ont la précision des observations elles-mêmes, d'où il résulte que cette hypothèse,

sans laquelle les mouvements extraordinaires des planètes sont absolument inexplicables, est conforme à la réalité, et que la terre, soumise aussi bien que les planètes aux lois de Képler qu'elle vérifie parfaitement d'ailleurs, décrit une ellipse autour du soleil comme foyer, avec une vitesse moyenne réciproquement proportionnelle à la racine carrée de sa distance moyenne au soleil.

Ces preuves du mouvement de la terre autour du soleil, quoique très-concluantes, ne sont cependant pas directes, et n'ont pas à la rigueur le caractère suffisant pour établir définitivement un fait d'une aussi grande importance. Or il est une démonstration mathématique de la réalité de ce mouvement de translation ; et c'est le phénomène connu sous le nom de l'*aberration de la lumière* qui nous la fournit.

178. Si un observateur en repos reçoit un rayon lumineux émané d'une étoile et se mouvant librement en ligne droite, il verra l'étoile sur le prolongement du rayon et par conséquent à sa véritable place. Mais si l'observateur se meut avec une vitesse qui ne puisse être négligée par rapport à celle de la lumière, quoique beaucoup plus petite, son œil, par suite de ce mouvement, choquera le rayon lumineux, dont à son tour il éprouvera une pression composée de la vitesse de la lumière et de la sienne propre dirigée en sens contraire. Par conséquent, le rayon lumineux n'ira pas se peindre au centre de la rétine dans sa direction primitive, mais suivant la diagonale du parallélogramme construit sur cette même direction et sur celle inverse de son propre mouvement, avec la valeur des deux vitesses. L'observateur verra donc l'étoile dans le prolongement de cette diagonale, et par conséquent dans un lieu différent de celui qu'elle occupe réellement. C'est ce qui arrive en effet, et donne lieu au phénomène qu'on appelle l'*aberration de la lumière*. La gran-

deur du déplacement donne la valeur de l'aberration.

179. La terre se meut autour du soleil avec une vitesse qui est d'environ 3 myriamètres (3,0462) par seconde, et qui change à chaque instant de direction. La vitesse de la lumière est, comme nous l'avons vu (144), de 31021,9178 myriamètres par seconde, et par conséquent ne peut être regardée comme infinie par rapport à celle de la terre. Supposons d'abord que le rayon lumineux ST (fig. 33), parti de l'étoile, soit perpendiculaire à la direction TT′ du mouvement de la terre. Construisons sur ces deux directions, et avec les vitesses relatives de la lumière et de la terre, le parallélogramme STT′S′; l'observateur verra le rayon lumineux dans la direction de la diagonale TS′. Or le triangle rectangle STS′ donne

1 : tang S′TS : : 31021,9178 : 3,0462, d'où l'on conclut tang S′TS = tang 20″,25426. Ainsi l'angle d'aberration est 20″,25 en se bornant à deux décimales. L'axe du télescope devra donc être dévié du vrai lieu de l'étoile d'un angle égal à 20″, 25 pour qu'on puisse l'apercevoir.

180. Si le rayon ST (fig. 34) est oblique par rapport à la direction TT′ de la terre, on aura toujours ST : TT′ : : 31021,9178 : 3,0462 : : 1 : tang 20″,25 ou : : 1 : sin 20″,25; car, pour d'aussi petits angles, on peut substituer le sinus à la tangente. Mais le triangle STT′ donne ST : TT′ : : sin ST′T : sin T′ST ou STS″ : : 1 : sin 20″, 25. L'angle d'aberration STS′, étant très-petit, peut être substitué à son sinus; par conséquent, la proportion ci-dessus deviendra

sin ST′T : STS′ : : 1 : sin 20″,25, d'où

STS = sin ST′T : sin 20″, 25. L'angle d'aberration est donc proportionnel au sinus de l'angle formé par la direction du mouvement de la terre dans l'espace avec le rayon visuel. La formule montre que l'aberration atteint

son *maximum* de 20'', 25, lorsque l'angle est droit, et qu'elle devient nulle seulement dans le cas où cet angle est nul, c'est-à-dire lorsque le rayon visuel est parallèle au mouvement de la terre. L'angle d'aberration pour le soleil a une valeur constante égale au *maximum,* parce que l'orbite terrestre pouvant être considérée comme une circonférence dont cet astre occupe le centre, la terre reçoit toujours, ou à fort peu près, ses rayons dans une direction perpendiculaire à celle de son mouvement.

L'angle d'aberration peut aussi se calculer par le temps que la lumière met à venir du soleil à la terre, et qui est (144) de 8' 13'', 2. Pendant ce temps, la terre parcourt sur son orbite un arc qui est donné par la proportion 365j·, 25638039 : 360° :: 8' 13'', 2 ou 493'', 2 : x = 20'', 25426 comme la première fois.

Donc *le soleil doit paraître en avant de son lieu réel, de la quantité* 20'', 25, *parallèlement à la direction du mouvement de la terre.*

181. La terre, changeant à chaque instant de direction dans cette orbite, chasse donc toujours devant elle les rayons lumineux qu'elle reçoit des astres, de sorte que la direction de ces rayons varie sans cesse avec la sienne. Il suit de là que nous ne voyons jamais les astres à leur véritable place ; que par l'effet de cette illusion, leur lieu apparent doit osciller autour de leur lieu vrai ; et que la période de ces oscillations doit être exactement d'une année. Le mouvement de rotation de la terre doit produire des effets analogues : mais ce mouvement, n'étant même à l'équateur que de 464 mètres par seconde, est ainsi 65 fois plus faible que celui de translation qui est de 30472 mètres par seconde ; par conséquent l'effet qui en résulte n'augmentant que de $\frac{1}{3}$ de seconde au plus la valeur précédente de l'angle d'aberration, est fort peu sensible, et nous n'y aurons pas égard.

L'aberration fait varier les ascensions droites et les déclinaisons apparentes de toutes les étoiles, et la valeur de ces variations est facile à calculer. Les résultats du calcul sont que chaque étoile doit décrire sur la sphère céleste une petite ellipse dont le centre est le lieu vrai de l'étoile, c'est-à-dire le point où on la verrait si la terre était immobile. Or si l'on observe chaque mois la déclinaison et l'ascension droite d'une étoile quelconque, et qu'on lui fasse subir les corrections relatives à la précession ainsi qu'à la nutation, on trouve que l'étoile n'est jamais à la même place, mais occupe successivement différents points dont la réunion forme une ellipse exactement égale à celle déduite de la théorie de l'aberration.

L'ellipse formée par la réunion des lieux apparents de chaque étoile est semblable et parallèle à l'orbite terrestre, mais son grand axe est perpendiculaire à celui de cette orbite, parce que la terre ayant sa plus grande vitesse au périgée et sa plus petite à l'apogée, le déplacement de l'étoile, résultant de cette vitesse et de celle de la lumière, atteindra son *maximum* dans le premier cas, et son *minimum* dans le second. L'étoile paraît décrire annuellement cette ellipse de l'ouest à l'est et en devançant toujours la terre de 90° dans son orbite. L'étoile placée au pôle de l'écliptique paraît décrire un cercle de 20″, 25 de rayon, parce qu'alors les rayons de l'étoile sont perpendiculaires à l'écliptique qui d'ailleurs diffère peu d'un cercle. Mais la largeur de l'ellipse diminue en même temps que la latitude de l'étoile, sa longueur restant toujours de 41″. Si l'étoile est dans le plan de l'écliptique, elle décrira un petit arc de 41″ qui nous paraîtra une ligne droite; et si en outre la direction du mouvement de la terre est parallèle à celle du rayon lumineux, l'aberration sera nulle, de sorte qu'on verra l'étoile à sa vraie place. L'observation suivie de tous ces

phénomènes remarquables offre une concordance parfaite avec les résultats déduits, par le calcul, du mouvement de la terre autour du soleil. Par conséquent, ils donnent une preuve mathématique de la réalité de ce mouvement; car ils n'auraient pas lieu, si ce mouvement n'existait pas, et il est absolument impossible de leur assigner une autre cause. L'aberration établit donc définitivement la vérité du mouvement de translation de la terre, auquel les stations et les rétrogradations apparentes des planètes donnaient déjà les plus grandes probabilités.

182. La variété des saisons s'explique très-facilement dans l'hypothèse du mouvement de la terre. Car pendant toute la durée d'une révolution de la terre autour du soleil, son axe de rotation reste constamment parallèle à lui-même, puisque tous ses points sont animés de vitesses égales et parallèles. Le plan de l'équateur terrestre, qui est perpendiculaire à cet axe, restera donc toujours aussi parallèle à lui-même, et viendra passer par le soleil chaque fois que la terre accomplira une demi-révolution dans son orbite. Alors il y aura équinoxe. L'équateur restera donc six mois au nord et six mois au midi du soleil ; et ses deux positions les plus éloignées, qui sont à 23° 27′ 40″ tant au nord qu'au midi, feront les solstices. Or les équinoxes et les solstices déterminent le commencement des quatre saisons de l'année. Les saisons restent donc les mêmes dans l'hypothèse du mouvement ou du repos de la terre.

183. On a vu (56) que l'inégalité des jours dépendait de la position du soleil par rapport à l'équateur, ou de sa déclinaison. Cette déclinaison reste la même pour un certain jour de l'année, soit que le soleil tourne autour de la terre en décrivant une circonférence parallèle à l'équateur, soit que la terre tourne autour du soleil de

manière que le plan de son équateur reste toujours parallèle à lui-même, ce qui a réellement lieu. Le rayon mené du centre du soleil au centre de la terre sera perpendiculaire au plan qui sépare l'hémisphère obscur de l'hémisphère éclairé, et rencontrera la surface de la terre en un point qui aura le soleil à son zénith, de sorte qu'à cet instant il sera midi pour ce point. La terre continuant à tourner sur elle-même, le rayon rencontrera successivement tous les points de la surface terrestre situés sur le même parallèle, et tous ces points ayant leur midi déterminé par une même position du rayon solaire,la longueur de ce jour sera la même pour tous ces points. Le lendemain, la terre continuant son mouvement de translation autour du soleil, le rayon joignant le centre du soleil au centre de la terre ne rencontrera plus sa surface dans la même série de points. Les nouveaux points d'intersection seront situés sur un parallèle plus éloigné ou plus rapproché de l'équateur que le précédent, selon l'époque de l'année, de sorte que ce jour sera, selon le cas, plus court ou plus long que le premier.

Au 21 mars, le rayon solaire dirigé au centre de la terre rencontre sa surface en un point de l'équateur, de sorte que le plan qui sépare l'hémisphère obscur de l'hémisphère éclairé passant ce jour-là par l'axe de rotation de la terre, chaque horizon voit le soleil pendant 12 heures et le perd de vue pendant 12 heures. Alors le jour est égal à la nuit par toute la terre, et la déclinaison du soleil est nulle, c'est l'équinoxe du printemps pour l'hémisphère boréal. L'équateur venant au midi du soleil, le rayon solaire, mené comme ci-dessus, rencontre la surface terrestre au nord de l'équateur, ou, ce qui est la même chose, le soleil prend une déclinaison boréale déterminée par cette intersection. Les jours grandissent donc progressivement pour l'hémisphère bo-

réal, et, diminuent pour l'hémisphère austral, jusqu'à ce que cette déclinaison boréale égalant 23° 27′ 40″, le jour soit devenu le plus long possible pour le premier hémisphère, et le plus court possible pour le second. C'est alors l'époque du solstice d'été pour l'un, et du solstice d'hiver pour l'autre. La déclinaison boréale du soleil diminuant ensuite, les jours se raccourcissent pour l'hémisphère boréal et grandissent pour l'hémisphère austral; après quoi l'équateur venant au nord du soleil, celui-ci prend par rapport à l'équateur une déclinaison australe, et les mêmes variations dans la durée des jours se reproduisent dans un ordre inverse. L'équateur restant six mois de suite au midi de l'équateur et six mois au nord, il en résulte que chaque pôle verra le soleil pendant six mois et le perdra de vue pendant les six mois suivants, de sorte qu'il aura successivement un jour de six mois et une nuit de six mois. Le jour du solstice d'été pour l'hémisphère boréal, le cercle arctique, situé à 23° 27′ 40″ du pôle, reste, pendant le temps de la rotation diurne de la terre, au-dessus du plan qui sépare l'hémisphère obscur de l'hémisphère éclairé; par conséquent il a un jour de 24 heures; le cercle antarctique, restant au-dessous du même plan pendant le même temps, a une nuit de 24 heures. On voit donc que dans l'hypothèse du mouvement de translation de la terre autour du soleil, l'inégalité des jours s'explique également bien pour tous les points de sa surface.

XXXI. — *Précession et Nutation.*

184. Nous avons dit (84) que la précession des équinoxes produisait l'apparence d'un mouvement très-lent du ciel étoilé autour de la ligne des pôles de l'écliptique, par suite duquel l'ascension droite et par conséquent la

longitude des étoiles variait tous les ans de 50″, 1. Si la terre était immobile dans l'espace, comme la position de l'écliptique est d'ailleurs invariable, il en résulterait que le point de l'équinoxe du printemps, à partir duquel on compte les ascensions droites et les longitudes, serait fixe, et qu'alors les étoiles se déplaceraient annuellement de 50″,1 parallèlement à l'écliptique. Mais un tel mouvement est absolument inadmissible, parce qu'il ne se borne pas seulement aux étoiles, mais atteint également tous les corps de notre système planétaire. Or cette apparence s'explique très-bien, dans l'hypothèse du mouvement de la terre, si l'on admet que l'équateur terrestre a en outre un mouvement annuel de 50″, 1, analogue à celui que nous avons déjà reconnu dans l'équateur lunaire et qui produit la libration.

En effet, soit eq (fig. 35) la ligne des équinoxes ou la trace de l'équateur sur le plan de l'écliptique supposé le plan du papier; par le point O, centre commun de l'écliptique et de l'équateur, menons deux perpendiculaires, l'une O P à l'écliptique, l'autre Op à l'équateur, laquelle sera l'axe du monde. La précession des équinoxes sera expliquée, si l'on suppose que Op décrive autour de O P une surface conique dont la moitié de l'angle au centre soit de 20° 27′ 40″, en se déplaçant annuellement de 50″,1, ou bien, ce qui revient au même, que le pôle p du monde décrive autour du pôle P de l'écliptique un cercle de 23° 27′ 40″ de rayon, sur lequel il parcoure chaque année un arc pp' égal à 50″, 1. Alors l'équateur, qui est toujours perpendiculaire à l'axe du monde, se déplacera de la même quantité, et son intersection avec l'écliptique, ou la ligne des nœuds, deviendra $e'q'$; par conséquent l'équinoxe e aura parcouru de l'est à l'ouest un arc ee' égal à 50″, 1. De là il résulte que l'axe terrestre ne reste pas constamment parallèle à lui-même dans le mouvement

de la terre autour du soleil, mais varie de direction par un déplacement régulier et très-lent, de manière à être toujours parallèle à une droite menée du centre du soleil à un point de la circonférence décrite par le pôle du monde autour du pôle de l'écliptique avec un rayon de 23° 27′ 40″, laquelle droite n'avance par an que de 50″, 1 sur cette circonférence. La précession des équinoxes provient de l'aplatissement de la terre aux pôles, et n'aurait pas lieu si la terre était parfaitement sphérique. L'action du soleil est plus forte à l'équateur qu'aux pôles, et produit le mouvement rétrograde de l'équateur.

185. En réalité, le pôle de l'équateur ne décrit pas autour du pôle de l'écliptique la circonférence dont nous venons de parler, mais bien une fort petite ellipse dont le centre se meut sur cette circonférence. Le grand axe de cette ellipse est de 18″, 5, et le petit axe égale 13″, 74. Ce phénomène remarquable, dû à l'influence de la lune sur la terre, s'appelle *nutation*. Par suite de cette action, le pôle du monde décrirait l'ellipse en 18 ans $\frac{6}{10}$, ou près de 19 ans, si la précession des équinoxes n'avait pas lieu ; mais comme ce phénomène se combine avec la précession des équinoxes, il en résulte définitivement que le pôle du monde décrit une courbe annulaire légèrement sinueuse. L'effet de la nutation est de faire varier les latitudes des étoiles, de même que la précession des équinoxes fait varier leurs longitudes.

Si la terre était immobile, ces oscillations apparentes des étoiles auraient nécessairement lieu, et l'on ne pourrait co ncevoir comment leur période égalerait précisément le même intervalle de temps que la lune met à revenir à ses nœuds. Ces deux phénomènes fournissent donc une nouvelle preuve du mouvement de la terre, qui pourrait également s'établir par l'examen attentif de chaque phénomène céleste.

186. L'altération qu'apporte la précession des équinoxes à la longitude des étoiles s'appelle *variation annuelle*. Notre étoile polaire y est également soumise. Sa distance actuelle au pôle, qui est de 1° 24′, diminuera encore jusqu'à la réduction d'un demi-degré, mais après, elle augmentera, et il viendra un temps où cette étoile sera bien loin du pôle de notre globe.

XXXII. — *Principe de la pesanteur universelle.*

187. Nous avons vu (169) que tous les corps élevés en l'air, et abandonnés à eux-mêmes, tombaient verticalement par l'effet d'une force nommée *pesanteur*. Les expériences de Galilée ont montré que, dans le vide, les corps ne parcourent pas des espaces égaux en des temps égaux, mais des espaces de plus en plus grands, qui sont, à Paris, 4$^{m.}$, 9044 dans la première seconde, 14$^{m.}$, 7132 dans la deuxième, 44$^{m.}$, 1396 dans la troisième, et ainsi de suite. Cette accélération dans le mouvement provient de l'action non interrompue de la pesanteur, qui s'ajoute sans cesse aux actions précédentes, dont elle augmente la somme.

188. La pesanteur agit de même sur un corps en mouvement, comme un boulet de canon lancé dans une direction horizontale ou oblique, et dans la première seconde le fait également descendre de 4$^{m.}$, 9044 au-dessous de sa direction initiale, abstraction faite de la pesanteur de l'air. Cette expérience se fait aisément en pointant un canon horizontalement ou obliquement sur un massif, où l'on marque le prolongement de l'axe. Mais pendant que le boulet va du canon au massif, il est continuellement dévié de sa direction rectiligne, et contraint de décrire une courbe concave vers le centre de la terre, laquelle est nommée *trajectoire*. Le mouvement curvi-

ligne résulte immédiatement de ce grand principe de mécanique, qu'un corps, soumis à la fois à l'action de deux forces, se meut, non suivant la direction de l'une ou de l'autre force, mais suivant la diagonale du parallélogramme construit sur ces forces. Ainsi le boulet sort du canon avec une vitesse initiale due à la force de la poudre, en vertu de laquelle il se mouvrait en ligne droite, s'il n'était en même temps soumis à la force de la pesanteur qui l'en fait dévier, et l'oblige à décrire dans le premier instant la diagonale du parallélogramme construit sur ces deux forces, et avec une vitesse égale à leur résultante. A la fin du premier instant, le boulet se meut donc avec cette vitesse et dans cette nouvelle direction, où il persévérerait sans la pesanteur qui agit encore sur lui, et lui fait aussi décrire, dans le second instant, la diagonale d'un nouveau parallélogramme construit comme ci-dessus, et avec une nouvelle vitesse égale à la résultante; ainsi de suite : de sorte que le boulet, changeant à chaque instant de direction, décrit une courbe concave vers la terre dont la pesanteur tend sans cesse à le rapprocher.

189. En outre la pesanteur agit, avec la même intensité, sur chaque molécule matérielle dont un corps est composé, c'est-à-dire que si l'on abandonne à eux-mêmes deux corps composés l'un de 10 molécules matérielles et l'autre de 100, il faudra faire un effort dix fois plus grand pour s'opposer à la chute du second qu'à celle du premier. Ainsi le *poids* d'un corps est la somme de toutes les actions que la pesanteur exerce sur lui. Ce poids est donc proportionnel au nombre des points matériels dont il est composé, ce qu'on appelle sa *masse;* et sa *densité,* qui est le nombre de ses points matériels sous un certain volume pris pour unité, est proportionnelle au rapport de la masse au volume du corps.

190. La pesanteur, étendue à tous les corps de notre système planétaire, prend le nom de *pesanteur universelle.* On l'appelle encore *gravitation* ou *attraction.* Le grand principe de la pesanteur universelle est que *tous les corps s'attirent en raison directe des masses, et en raison inverse du carré des distances.* L'immortel Newton s'est élevé par la force de son génie à ce principe unique de tous les mouvements des corps célestes, qu'il a déduit des lois de Képler. Le procédé reposant sur des considérations de la plus haute analyse, nous nous bornerons à montrer l'enchaînement des propositions par lesquelles Newton a obtenu ce grand principe.

191. Lorsqu'un corps se meut dans une courbe concave ou rentrante sur elle-même, il existe nécessairement une cause intérieure qui oblige le corps à changer ainsi de direction à chaque instant. La mécanique apprend que la cause de ce changement instantané de direction réside en un point intérieur à la courbe décrite. Tel est le cas du mouvement des planètes. Prenant donc une des planètes, on forme les équations de son mouvement, où les forces qui la sollicitent entrent comme inconnues. Or Képler a obtenu directement par la comparaison d'une foule d'observations les lois suivantes:

1° *Les surfaces décrites par les rayons vecteurs des planètes dans leur mouvement autour du soleil sont proportionnelles aux temps.*

On en déduit, par le calcul, que la force qui retient les planètes dans leurs orbites réside dans le soleil qui les attire sans cesse vers son centre.

2° *Les orbites des planètes et des comètes sont des ellipses ou des sections coniques quelconques, dont le soleil occupe un foyer commun.*

On en déduit que la force qui les attire vers le soleil est en raison inverse du carré de leurs distances à cet

astre ; et réciproquement, si la force qui les attire suit cette loi, leurs orbites sont des sections coniques.

3° *Les carrés des temps des révolutions des planètes sont proportionnels aux cubes des grands axes de leurs orbites ;* ou, ce qui revient au même, et pour comprendre toutes les comètes dans la même loi, *les surfaces décrites en temps égaux dans différentes orbites sont proportionnelles aux racines carrées des rayons vecteurs ou paramètres.*

On en déduit que la force qui attire les planètes et les comètes vers le soleil est la même pour tous ces astres, et qu'elle ne varie de l'un à l'autre qu'à raison de leurs distances, en sorte que s'ils étaient placés en repos autour du soleil à des distances égales, ils tomberaient vers lui avec la même vitesse, et par suite, dans des temps égaux. Donc la force qui les attire vers le soleil pénètre chacune de leurs molécules matérielles, et par conséquent est proportionnelle à leur masse.

Enfin les satellites vérifiant également les lois de Képler, et formant avec leur planète principale un petit système analogue à notre système planétaire, on en conclut que leur planète les attire de même en raison directe de leurs masses, et en raison inverse du carré de leurs distances. Mais la réaction étant toujours égale et contraire à l'action, il faut nécessairement que les planètes et les comètes attirent aussi le soleil, et les satellites leur planète, en raison directe de leurs masses. Donc la comparaison de tous les phénomènes offerts par les corps de notre système, qui a conduit Képler aux lois qui les régissent, mène également, à l'aide de ces lois, au grand principe de Newton, que *tous les corps s'attirent en raison directe des masses, et en raison inverse du carré des distances.* Aussi, en partant de ce principe, on en déduit tous les phénomènes des corps célestes

jusque dans leurs plus petits détails, sans aucune exception.

192. Au reste, voici comment on peut concevoir qu'on arrive à ce principe, en partant des lois de Képler. Supposons en présence, par exemple, le soleil et Jupiter situé à son périhélie. Jupiter, en vertu de sa vitesse acquise à ce point, tend à se mouvoir dans la première seconde suivant la direction de cette vitesse ou de la tangente à la courbe, et suivrait réellement cette direction s'il n'était soumis à aucune autre force. Mais alors le soleil l'attirant, comme nous avons vu que la terre attirait un boulet sortant de la bouche de la pièce, Jupiter se meut suivant la diagonale du parallélogramme construit sur ces deux forces, et tombe, par conséquent, au-dessous de sa direction au périhélie, d'une quantité égale à la distance qui se trouve, au bout d'une seconde, entre l'extrémité de la diagonale qu'il parcourt réellement et celle de la tangente qu'il aurait parcourue sans l'action du soleil. Calculant cette même longueur en un autre point quelconque de l'orbite, on trouve que ces deux longueurs, ou les quantités dont le soleil fait tomber Jupiter en une seconde au-dessous de la direction de son mouvement à ces deux points, sont exactement en raison inverse du carré des distances.

193. Si l'on opère le même calcul sur une autre planète, comme Mars ou Saturne, la comparaison des résultats montre également que les quantités, dont le soleil fait tomber en une seconde Jupiter et Mars situés à un point quelconque de leur orbite, sont encore exactement en raison inverse du carré des distances, c'est-à-dire que Mars, transporté au même point de l'orbite de Jupiter, tomberait de la même quantité que Jupiter. D'où il résulte 1° que cette loi est générale et s'étend à tous les corps de notre système; 2° que la force qui réside dans

le soleil sollicite exactement de la même manière chacune des molécules matérielles de ces corps, et agit par conséquent en raison directe de leur masse. En outre, comme toute action établit nécessairement une réaction égale et en sens contraire, on en conclut comme précédemment que *tous les corps célestes s'attirent en raison directe des masses, et en raison inverse du carré des distances.*

On démontre encore, d'après les principes de la mécanique, que l'impulsion dont la terre a été primitivement animée ne passait point par son centre, car sans cela elle n'aurait pas eu un mouvement de rotation diurne autour de son axe, mais seulement un mouvement de translation autour du soleil. Il en est de même pour les autres planètes.

194. L'identité de la gravitation avec la pesanteur terrestre se vérifie très-bien pour la lune qui est notre satellite. Car un boulet, lancé par un canon, va retomber sur la terre; si l'on augmente la charge de la poudre, l'amplitude de la trajectoire augmentera, et le boulet ira tomber plus loin. Or, on peut lui supposer une vitesse initiale telle que, faisant abstraction de la résistance de l'air, le boulet ne retombera plus, et deviendra un satellite de la terre. La lune est donc, dans l'espace, un énorme boulet éloigné de la terre de soixante rayons terrestres, et que celle-ci force à chaque instant à changer de direction. Pour comparer avec la pesanteur terrestre l'action de la terre sur la lune, si l'on calcule, comme pour les planètes, la quantité dont la terre fait tomber la lune en 1″, on trouve 0^{m}·,00100344, après avoir fait toutefois deux corrections relatives, l'une à l'action du soleil qui diminue de $\frac{1}{358}$ l'action de la terre sur la lune, l'autre à la considération de la somme des masses de la terre et de la lune par rapport à l'autre. Or, la pesanteur qui fait tomber un corps de 4^{m}·, 9044 en 1″ à la surface

de la terre (pour la latitude de Paris), ou à une distance du centre de la terre égale à la longueur du rayon terrestre, ne doit plus, d'après la loi ci-dessus, le faire tomber en 1″ à la distance de la lune ou à 60 rayons terrestres, que dans le rapport de 1 au carré de 60 ou 3600. On aura donc la hauteur cherchée en divisant par 3600 le nombre qui exprime la hauteur de chute près de la terre. Le calcul donne précisément la même valeur indiquée plus haut, l'erreur ne portant que sur la 7e décimale. Une identité si remarquable prouve évidemment que la force attractive qui retient la lune dans son orbite, et la pesanteur qui précipite les corps vers la surface de la terre, doivent être rapportées à une seule et même cause, puisqu'elles se manifestent par les mêmes effets, et que, par conséquent, la pesanteur terrestre est de la même nature que la force attractive qui retient les planètes et leurs satellites dans leurs orbites.

195. Si une planète existait seule avec le soleil, elle suivrait exactement les lois de Képler; mais, comme toutes les planètes existent en même temps, elles exercent l'une sur l'autre une action qui les fait dévier de la route tracée par ces lois. Ces déviations ont reçu le nom de *perturbations*. On en distingue de deux sortes, les unes nommées *inégalités périodiques*, et les autres *inégalités séculaires;* celles-ci sont aussi bien périodiques que les premières, mais ne deviennent sensibles qu'au bout d'un très-long intervalle de temps, et leur période embrasse une longue suite de siècles. On peut encore diviser les inégalités périodiques en deux autres, celles *à courte période*, et celles *à longue période*.

196. La comparaison d'un grand nombre d'observations faites sur Jupiter et sur Saturne a permis de constater une inégalité remarquable, appelée *grande inégalité de Jupiter et de Saturne*. Elle consiste en ce que le mou-

vement de l'un augmente quand celui de l'autre diminue, et réciproquement. La période de ces changements remarquables de vitesse est de 917 ans 9 mois. Laplace a fait voir que depuis 1790 le mouvement de Saturne s'accélérait, et que celui de Jupiter diminuait. Les perturbations de ces deux planètes sont produites par les renflements et les aplatissements alternatifs de leurs orbites.

197. Tous les éléments elliptiques des planètes sont soumis aux perturbations, excepté les mouvements moyens et les grands axes qui restent constamment invariables. Les perturbations sont d'autant plus grandes que les planètes qui les causent ont une masse plus considérable. Si l'on forme l'expression analytique du déplacement qui doit avoir lieu d'après les actions des planètes perturbatrices, et qu'on l'égale au déplacement observé, on obtiendra une certaine relation qui contiendra les masses des planètes comme inconnues. Opérant de même pour diverses positions des planètes, jusqu'à ce qu'on ait autant de relations que l'on considère de planètes perturbatrices, on en déduira leurs masses d'après les méthodes connues. (Voyez-les dans les tableaux du n° 203.)

Ce problème, envisagé ainsi, offre les plus grandes difficultés, et ne peut être résolu que par des considérations de la plus haute analyse. Or nous allons (198) indiquer un procédé bien plus simple pour déterminer la masse des planètes qui ont des satellites.

Mais d'abord les observations de la pesanteur à la surface de la terre donnent encore un moyen de déterminer le rapport de sa masse à celle du soleil. Car on sait de combien tombe un corps en 1″ à la surface de la terre, et l'on trouve la réduction que doit subir cette quantité à la distance du soleil, en la diminuant dans le rapport du carré des distances. On aura

donc la hauteur h dont un corps transporté à la distance du soleil tombe en $1''$ vers la terre par l'action de la pesanteur. D'un autre côté, on peut calculer, comme on l'a indiqué pour les planètes, la hauteur H dont le soleil fait tomber vers lui la terre en $1''$. Or, à distance égale, les forces attractives, et par conséquent aussi les hauteurs de chute, sont en raison directe des masses m et M de la terre et du soleil; on aura donc $h : \mathrm{H} :: m : \mathrm{M}$. Mais comme la force qui retient un corps dans son orbite autour d'un corps central dépend de la somme des masses des deux corps, cette proportion suppose qu'on néglige 1° la masse du corps par rapport à celle de la terre, ce qui est bien permis, 2° la masse de la terre par rapport à celle du soleil, ce qui l'est moins : on aura donc plus exactement la proportion $h : \mathrm{H} :: m : \mathrm{M} + m$, qui donne $m\,\mathrm{H} = h\,(\mathrm{M} + m)$, d'où l'on tire $m = \frac{\mathrm{M}h}{\mathrm{H}-h}$, ou, en prenant la masse du soleil pour unité, $m = \frac{h}{\mathrm{H}-h}$ le résultat donne $m = \frac{1}{354936}$, c'est-à-dire que le soleil attire autant que le feraient 354936 terres, ou qu'il contient 354936 fois la masse de la terre ou la quantité de matière pondérable dont elle est formée.

Or, comme la densité d'un corps est en raison directe de sa masse et en raison inverse de son volume, comme, en outre, le soleil est 1389 589 fois, ou, plus exactement (Complém. du Cours de Cosmogr., n° 117), 1 407 903 fois plus gros que la terre, si l'on prend la densité de celle-ci pour unité, celle du soleil en sera seulement le 0,252 ou le quart; de sorte qu'il doit réellement être composé de matériaux bien plus légers.

198. Nous venons d'indiquer qu'on pouvait déterminer aisément la masse des planètes qui ont des satellites, de la terre, par exemple; et ce procédé rentre même dans le cas précédent, d'après l'identité de la pesanteur avec la force qui retient la lune dans son orbite (194). On cher-

che la hauteur dont le soleil fait tomber la terre en 1″, et celle dont la terre fait tomber la lune en 1″. Le rapport de ces hauteurs, qui égale $\frac{1}{2,209}$, est donc celui des forces centrales qui résident dans le soleil et dans la terre. Or, le soleil étant 400 fois plus éloigné que la lune, et la gravité variant en raison inverse du carré des distances, on aura l'intensité des deux forces centrales ramenées à la même distance, en multipliant le rapport ci-dessus par celui de 1 au carré de 400, ce qui donne pour les masses du soleil et de la terre le même rapport qu'on vient d'obtenir, ou à peu près, parce que les nombres ne sont qu'approchés, le soleil étant 400,8 fois plus loin que la lune supposée à 60 rayons terrestres.

La masse des planètes qui ont des satellites s'obtient de la même manière. Mais on ne connaît pas aussi bien celle de Vénus et de Mercure qui n'en ont pas.

Les comètes observées jusqu'à ce jour n'ayant produit aucun dérangement sensible sur les autres corps du système planétaire, et même celle de 1770, qui se jeta tout au travers des satellites de Jupiter, ayant été sans action sur eux, on regarde avec raison leur masse comme extrêmement faible; mais on n'a encore pu la déterminer pour aucune d'elles.

199. Toutes les planètes offrent la figure d'un sphéroïde ou ellipsoïde aplati, ce qui résulte en effet de la supposition qu'elles étaient primitivement fluides, et douées d'un mouvement de rotation sur elles-mêmes. Car une planète fluide, considérée d'abord à l'état de repos, doit prendre la forme sphérique à cause de l'action de la pesanteur attirant vers son centre toutes les molécules qui la composent. Mais dès qu'on lui donne un mouvement de rotation, ses molécules deviennent à l'instant soumises à une nouvelle force qui est la force centrifuge. Or les molécules situées près de l'axe de rotation n'ac-

quérant qu'une très-petite vitesse, qui s'accroît à mesure que la force centrifuge agit sur des molécules plus éloignées de l'axe, il en résulte que cette vitesse, et par conséquent la tendance à s'échapper du centre, sera la plus grande possible à l'équateur dont les molécules sont les plus distantes de l'axe. Par suite de cette inégalité de vitesse, la planète perdra sa forme sphérique en s'aplatissant aux pôles et se renflant à l'équateur. C'est en effet la forme que nous avons reconnue dans la terre ainsi que dans les autres planètes.

200. La précession des équinoxes est une suite de cette forme elliptique de la terre. Si l'on suppose la terre composée de deux parties, l'une étant une sphère centrale d'un diamètre égal au diamètre polaire, et l'autre un *ménisque* ou enveloppe matérielle, dont l'épaisseur, nulle aux pôles, irait en augmentant vers l'équateur où elle atteindrait 2, 1 myriamètres, c'est-à-dire la valeur du renflement réel de la terre, il est évident que l'action du soleil ne doit produire aucune perturbation sur la sphère centrale, mais attirer davantage la moitié du ménisque la plus voisine de lui et située d'un côté du plan de l'écliptique, que la moitié de ce ménisque la plus éloignée de lui et située de l'autre côté de ce plan. Par conséquent, il doit tendre à coucher tout le ménisque sur le plan de l'écliptique, de manière à amener dans ce plan le cercle de l'équateur terrestre où le ménisque a la plus grande épaisseur, ce qui finirait par avoir lieu si la terre était immobile. Or, comme le ménisque participe à la rotation de la terre sphérique centrale avec laquelle il fait corps, il conserve, par suite de ce mouvement, l'inclinaison constante de $23^{0}\ 27'\ 40''$ sur l'écliptique, et change l'action du soleil dans une rétrogradation des nœuds, en leur transportant une variation qui, sans ce mouvement, eût été dans son inclinaison. Mais ce mouvement rétrograde des nœuds du

ménisque équatorial est considérablement diminué par son adhérence avec la grande masse de la terre sphérique centrale. De là résulte la précession des équinoxes caractérisée par l'extrême lenteur du mouvement rétrograde des nœuds terrestres qui la produit. La lune agit également sur le ménisque équatorial, qu'elle tend de même à coucher dans le plan de son orbite. Cette action, qui varie donc avec la position de l'orbite lunaire, affecte à la fois le mouvement rétrograde des nœuds de l'équateur terrestre, et son inclinaison sur l'écliptique. Par conséquent, la partie de cette action qui s'exerce sur le mouvement des nœuds se combine avec l'action du soleil pour produire la précession moyenne des équinoxes, telle qu'elle a lieu réellement. L'autre partie, qui fait varier l'inclinaison de l'équateur terrestre sur le plan de l'écliptique, imprime donc à l'axe de la terre le mouvement gyratoire nommé *nutation*, par suite duquel le pôle de l'équateur décrit la petite ellipse dont il a été parlé dans l'article précédent. Donc enfin le pôle de l'équateur, animé de ces deux mouvements, décrit réellement autour du pole de l'écliptique une courbe épicycloïdale. Concluons de là que les phénomènes de la précession et de la nutation, en vertu desquels l'axe terrestre acquiert son mouvement définitif, ne sont en réalité que deux éléments d'un phénomène unique.

201. Le phénomène des marées est une autre conséquence immédiate du principe de la pesanteur universelle ; car la lune se trouvant au méridien supérieur attire davantage les molécules situées à la surface de la terre que celles plus éloignées situées vers le centre. Les molécules solides résistent, en vertu de leur force de cohésion, à cette différence d'attraction lunaire qui s'exerce sur les parties superficielles et sur les parties centrales. Mais les molécules fluides cèdent, par suite de leur

extrême mobilité, à cette différence d'attraction, et, tendant à se séparer de la surface du globe, s'élèvent au-dessus de leur niveau. Cette impulsion ascensionnelle se communiquant à toutes les molécules voisines, il en résulte l'élévation d'une grande masse d'eau qui produit la marée au méridien supérieur. De même la lune attire davantage les parties centrales que les parties superficielles situées au méridien inférieur. Cette différence d'attraction n'a aucun effet sensible sur les molécules solides superficielles adhérant entre elles et de proche en proche aux molécules centrales par leur force de cohésion. Les molécules fluides au contraire ressentent toute l'influence de cette différence d'attraction, et tendent à se séparer de la surface du globe en s'élevant au-dessus de leur niveau, précisément comme au méridien supérieur. L'attraction de la lune a donc pour effet d'amonceler deux grandes masses d'eau aux deux extrémités du diamètre terrestre dirigé vers cet astre, et par compensation de causer une dépression équivalente vers les deux extrémités du diamètre perpendiculaire au premier. Par conséquent, la lune est toujours suivie dans sa marche par ces deux masses d'eau protubérantes ou marées, l'une supérieure, l'autre inférieure. L'action du soleil soulève de même deux masses d'eau analogues, mais plus faibles en raison de sa grande distance, et qui le suivent dans son mouvement apparent. Les marées lunaire et solaire existent en même temps, et se combinent de manière à former les marées réelles, qui, selon les positions du soleil et de la lune, sont formées de la somme ou de la différence des marées partielles. De là il résulte que les marées doivent être les plus fortes vers les sizygies, et les plus faibles vers les quadratures. Ce qui est toujours conforme à l'observation. Voyez, pour plus de détails sur les perturbations en général et pour le problème des trois corps,

notre Complément du Cours de Cosmographie, nos 181 à 205.

202. Terminons par une comparaison empruntée à Herschell et propre à donner une idée approximative de notre système planétaire représenté par la planche III.

Concevons, dans une plaine bien unie, un globe de 65 centimètres de diamètre figurant le soleil. Mercure sera représenté par un grain de moutarde roulant sur une circonférence de 55 mètres de diamètre ; Vénus, par un pois ordinaire sur un cercle de 92 mètres ; la terre, par un pois un peu plus gros, sur un cercle de 140 mètres ; Mars, par une grosse tête d'épingle, sur un cercle de 210 mètres; Junon, Cérès, Vesta et Pallas, par des grains de sable, sur des cercles de 525 à 590 mètres; Jupiter par une orange moyenne, sur un cercle de 715 mètres; Saturne, par une petite orange, sur un cercle de 1300 mètres ; Uranus, par une grosse cerise, sur un cercle de 2660 mètres ou plus d'un quart de myriamètre. En outre Mercure décrirait une longueur égale à son diamètre en 41″; Vénus, en 4′ 14″; la terre, en 7′ ; Mars, en 4′ 48″; Jupiter , en 2h. 56′ ; Saturne, en 3h. 13′; Uranus, en 2h. 16′. Enfin, si l'on suppose à la terre la densité de la pierre calcaire, le soleil sera, sous ce rapport, représenté par du bois de sassafras, la lune par du succin, Mercure par de la mine de fer, Vénus par du grès, Mars par du manganèse, Jupiter par de la résine, Saturne par du liége, et Uranus par du bois de peuplier.

203. Dans les tableaux suivants, les éléments des orbites sont donnés, pour les anciennes planètes et leurs satellites, au 1er janvier 1801 à minuit, et, pour les quatre nouvelles planètes, au 1er janvier 1820 à minuit. Les périodes sont en jours solaires moyens, et les rotations en temps sidéral. Le diamètre réel du soleil est calculé avec la parallaxe 8″,5776 et le diamètre apparent *moyen harmonique* 32′ 2″,74. (Complém. du Cours de Cosmogr., n° 117.)

TABLEAU SYNOPTIQUE DES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME SOLAIRE.

Noms des planètes.	DISTANCE MOYENNE AU SOLEIL		Période sidérale moyenne.	Excentricité, en parties du demi-grand axe.
	exacte.	en myriamètres.		
Mercure	0,3870981	5 922 600	87,9692580	0,2055149
Vénus	0,7233316	11 066 973	224,7007869	0,0068607
La Terre	1,0000000	15 300 000	365,2563804	0,0167942
Mars	1,5236923	23 312 492	686,9796458	0,0933070
Vesta	2,3678700	36 228 411	1325,7431000	0,0891300
Junon	2,6690090	40 835 837	1592,6608000	0,2578480
Cérès	2,7672450	42 338 848	1681,3931000	0,0784390
Pallas	2,7728860	42 425 156	1686,5388000	0,2416480
Jupiter	5,2027760	79 502 473	4332,5848212	0,0481621
Saturne	9,5387861	145 943 427	10759,2198174	0,0561505
Uranus	19,1823900	293 490 567	30686,8208296	0,0466794

Noms des planètes.	Inclinaison sur l'écliptique.	Longitude du nœud ascendant.	Longitude du périhélie.	Longitude moyenne ou époque.
Mercure	7° 0' 9",1	45° 57' 30",9	74° 21' 46",9	166° 0' 48",6
Vénus	3 23 28,5	74 54 12,9	128 43 53,1	11 33 3,0
La Terre	——	——	99 30 5,0	100 39 10,2
Mars	1 51 6,2	48 0 3,5	332 23 56,6	64 22 55,5
Vesta	7 8 9,0	103 13 18,2	249 33 24,4	278 30 0,4
Junon	13 4 9,7	171 7 40,4	53 33 46,0	200 16 19,1
Cérès	10 37 26,2	80 41 24,0	147 7 31,5	123 16 11,9
Pallas	34 34 55,0	172 39 26,8	121 7 4,5	108 24 57,9
Jupiter	1 18 51,3	98 26 18,9	11 8 34,6	112 15 23,0
Saturne	2 29 35,7	111 56 37,4	89 9 29,8	135 20 6,5
Uranus	0 46 28,4	72 59 35,3	167 31 16,1	177 48 23,0

Astres.	Durée de la rotation.	DIAMÈTRE ÉQUATORIAL		Volume.	Masse.
		exact.	en myriamètres.		
Le Soleil	25j,500	112,079	142713,6427	1407903	354936
Mercure	1,003	0,398	507,6178	0,0630	0,1755
Vénus	0,973	0,975	1243,5362	0,9275	0,8745
La Terre	0,997	1,000	1275,4218	1,0000	1,0000
Mars	1,027	0,517	659,3930	0,1382	0,1394
Jupiter	0,414	10,860	13851,0807	1280,8240	336,7314
Saturne	0,435	9,987	12737,6375	996,1050	101,0638
Uranus	inconnue.	4,332	5525,1072	81,2953	19,8089

Nota. J'ai indiqué (n° 68) de prendre pour la distance moyenne du Soleil 15 300 000 myriamètres, à peu près la moyenne entre les résultats fournis par le rayon terrestre moyen et le rayon terrestre perpendiculaire à l'écliptique. Je pense actuellement qu'il vaut mieux prendre, dans ce calcul, pour rayon terrestre moyen, celui de la terre *supposée sphérique et équivalente à l'ellipsoïde dont elle a la figure*. Ce rayon égalant 6 363 162 mètres, on a pour la distance du soleil 15 301 438 myriamètres ou 15 300 000 myriamètres à 1438 myriamètres près. (Voyez notre Complément du Cours de Cosmographie, n° 116.)

TABLE SYNOPTIQUE DES ÉLÉMENTS DES ORBITES DES SATELLITES.

N. B. Les distances sont exprimées en rayons équatoriaux des planètes. L'époque est celle du 1er janvier 1801 à minuit.

I. LA LUNE.

Distance moyenne à la terre	en rayons terrestres						59,6904
	en myriamètres						38018,3470
Révolution moyenne	sidérale	27j	7h	43'	11",5	ou	27j,321661
	tropique	27	7	43	4,7	ou	27,321582
	synodique	29	12	44	2,9	ou	29,530589
	anomalistique	27	13	18	37,4	ou	27,554600
	par rapport au nœud	27	5	5	36	ou	27,212222
	synodique du nœud						346,619630
	du nœud sur le ciel						6793,391080
	de l'apogée sur le ciel						3232,575343
Excentricité de l'orbite							0,0548442
Inclinaison moyenne de l'orbite							5° 8' 47",9
Longitude moyenne à l'époque	de la lune						118 17 8 ,3
	du périgée						266 10 7 ,5
	du nœud						13 53 17 ,7
Mouvement moyen de la lune par jour							13° 10' 35",0
Valeur du jour lunaire moyen							24h 50' 28",3
Diamètre en myriamètres							347,5524
Volume : celui de la terre étant 1							$\frac{1}{49}$
Masse : celle de la terre étant 1							0,0125172
Densité : celle de la terre étant 1							0,615

OBSERVATION.

Les astronomes supposent la parallaxe horizontale équatoriale de la lune égale à 57'0",9 dans sa moyenne distance de la terre. C'est ce qu'on appelle la *constante de la parallaxe*. La distance correspondante de la lune est 60,29824 rayons terrestres, ou 38453,8449 myriamètres.

Une *révolution sidérale* ramène la lune au même point du ciel, ou à la même longitude comptée d'un équinoxe fixe.

Une *révolution tropique* la ramène à la même longitude comptée de l'équinoxe mobile.

Une *révolution synodique* la ramène en conjonction avec le soleil.

Une *révolution anomalistique* la ramène au même point de son orbite.

Une *révolution par rapport au nœud* ou *révolution draconique* la ramène au même nœud.

Une *révolution synodique du nœud* ramène la rencontre de la ligne des nœuds et du soleil censés partis d'un même point du ciel.

II. Satellites de Jupiter.

Satellites.	Distance moyenne au centre de la planète.	Révolution sidérale.	Inclinaison sur l'équateur.	Masse, celle de la planète étant 1.
1	6,04853	1j 18h 28' ou 1j,76916	0	0,0000173
2	9,62347	3 13 14 ou 3,55181	27' 49",2	0,0000232
3	15,35024	7 3 43 ou 7,15455	12' 20"	0,0000884
4	26,99835	16 16 32 ou 16,68877	2°	0,0000427

Les excentricités du 1er et du 2e satellite sont insensibles ; celle du 3e est très-petite, mais sensiblement variable ; celle du 4e est un peu plus grande.

III. Satellites de Saturne.

Satellites.	Distance moyenne au centre de la planète.	Révolution sidérale.	Excentricités et inclinaisons.
1	3,351	0j 22h 38' ou 0j,94271	Les orbites de six satellites intérieurs sont à peu près circulaires, et coïncident presque avec le plan de l'anneau. L'orbite du septième est considérablement incliné sur les plans des autres, et approche beaucoup de coïncider avec l'écliptique.
2	4,300	1 8 53 ou 1,37024	
3	5,284	1 21 18 ou 1,88780	
4	6,819	2 17 45 ou 2,73948	
5	9,524	4 12 25 ou 4,51749	
6	22,081	15 22 41 ou 15,94530	
7	64,359	79 7 55 ou 79,32960	

Les deux premiers ont été découverts par Herschel, en 1789, avec un télescope de 40 pieds ; les deux suivants par Cassini, en 1684 ; le 5e et le 7e aussi par Cassini en 1671 et 1672 ; le 6e par Huygens en 1655.

IV. Satellites d'Uranus.

Satellites.	Distance moyenne au centre de la planète.	Révolution sidérale.	Inclinaison à l'écliptique.
1?	13,120	5j 21h 25' ou 5j,8926	Les orbites sont inclinées d'environ 78° 58' sur l'écliptique, et les mouvements sont rétrogrades. Les périodes des 2e et 4e n'exigent que de légères corrections. Les orbites paraissent être à peu près circulaires.
2	17,022	8 16 56 ou 8,7068	
3?	19,845	10 23 4 ou 10,9611	
4	22,752	13 11 9 ou 13,4645	
5?	45,507	38 1 48 ou 38,0750	
6?	91,008	107 16 40 ou 107,6944	

Ces satellites n'ont encore été observés que par Herschel qui les a découverts. Le 2e et le 4e satellite ont seuls été revus.

PREMIER APPENDICE,

SUR

LES PRÉTENDUES INFLUENCES DE LA LUNE.

—

SOMMAIRE.

Lunes des mois. — Lune rousse. — Opinion de l'influence de la lune sur les saisons. — *Maximum* de pluie pendant le second octant. — Action réelle de la lune mesurée par une demi-ligne de hauteur du baromètre. — Faux principe des observations de Toaldo. — Coupe des bois dans le décours de la lune.

1. On distingue, dans la société, les lunes des différents mois; ainsi l'on dit la *lune de Mars*, la *lune d'Avril*, etc.... Les lunes qui ne sont d'aucun usage en astronomie font souvent élever des difficultés, car une question toute naturelle est de savoir ce que l'on entend et ce que l'on doit entendre par la lune d'un mois désigné. L'opinion la plus générale, qui est celle des auteurs de l'Art de vérifier les dates, est que l'on doit donner à la lune le nom du mois où elle finit. D'après cela, on appelle lune de Mars celle qui finit en mars. Cet usage amène plusieurs bizarreries dont la plus remarquable proviendrait de la lune qui, finissant le 1er mars une seconde après minuit, doit s'appeler lune de Mars, quoiqu'elle ait commencé en janvier, dans une année commune, et développé toutes ses phases en février. D'un autre côté, si l'on prend l'origine de la lunaison pour l'indice du mois, il en résultera d'autres bizarreries, comme d'appeler lune de Mars la lune commençant le

31 mars une seconde avant minuit. C'est une suite nécessaire de la différence qui existe entre la durée de la lunaison et d'un mois de l'année civile, et on ne peut donner de règle exempte des bizarreries signalées. Au reste, cet objet a très-peu d'importance.

2. Les jardiniers disent que la lumière de la lune a la propriété de faire geler ou roussir les plantes, et prétendent que cette funeste influence se manifeste surtout dans la lune qui, commençant en avril, devient pleine ordinairement dans le courant de mai, et qu'ils appellent la *lune rousse* par suite de l'action qu'elle exerce, principalement sur les jeunes pousses des plantes se développant en mai. D'après eux, les jeunes pousses exposées à la lumière de la lune roussissent ou gèlent, quoique le thermomètre suspendu en l'air près des plantes marque 7 à 8 degrés centigrades au-dessus de zéro, et ces mêmes jeunes pousses ne gèlent pas quand des nuages les préservent de l'action des rayons de la lune. Le fait est certain, mais l'observation des jardiniers n'est pas complète, et l'explication qu'ils en donnent n'est pas juste. On sait que tous les corps tendent à se mettre en équilibre de température, lorsqu'ils sont placés en regard l'un de l'autre, quoique écartés entre eux. Or, pendant l'absence du soleil, les corps situés à la surface de la terre tendent à se mettre en équilibre de température avec les hautes régions de l'espace qui sont de 40 ou 50 degrés centigrades au-dessous de zéro. Donc ces corps, envoyant à ces régions plus de chaleur qu'ils n'en reçoivent eux-mêmes, et ne recevant de la terre qu'une chaleur égale à celle qu'ils lui envoient, doivent se refroidir. Tous les corps ne rayonnent pas également. Il en est qui rayonnent très-peu pendant la nuit, comme l'air, les métaux, etc.; d'autres au contraire rayonnent beaucoup, comme le coton, l'édredon, les végétaux et

surtout le parenchyme des feuilles. Par conséquent, si, par une nuit sereine, on place un thermomètre dans l'air, il continue à marquer une température qui peut aller à 7 à 8 degrés centigrades, parce que l'air, avec lequel il est en contact, rayonnant très-peu, n'éprouve pas une grande diminution de température. Mais les plantes rayonnant beaucoup, et ne réparant pas leurs pertes, éprouvent un refroidissement capable de les faire geler.

Le thermomètre ne doit pas être suspendu dans l'air, pour indiquer l'abaissement qu'elles ont éprouvé dans leur température ; il faut au contraire le mettre en contact avec les plantes elles-mêmes.

Ce n'est pas la lumière de la lune qui fait geler les plantes, quoiqu'elles gèlent quand la lune brille, et ne gèlent point quand elle est cachée par des nuages. La lune est là comme un indice, comme un témoin qui atteste que les plantes rayonnent en liberté vers les hautes régions de l'espace, et doivent par conséquent éprouver un grand abaissement de température. Quand la lune ne paraît pas, elle est masquée par un rideau de nuages qui arrête dans les plantes l'action du rayonnement, en s'interposant entre elles et les régions glacées de l'espace, d'où il résulte que les plantes n'éprouvent qu'un abaissement de température insensible ou même nul, et par conséquent ne gèlent pas. Ainsi, sans en connaître la véritable cause, les jardiniers ont raison de dire que les plantes gèlent, ou ne gèlent pas, selon qu'elles reçoivent la lumière de la lune, ou qu'elles en sont préservées.

Ce phénomène ayant lieu surtout dans le mois de mai où les nuits sont ordinairement sereines, et où les plantes, alors en pleine végétation, offrent des parties très-délicates, les jardiniers disent que la lune pleine en mai est la lune rousse. Mais on peut se convaincre, par plusieurs expériences, que la lune n'entre pour rien là dedans. Si

l'on a deux plantes voisines, et que, par une nuit sereine, on couvre l'une d'une gaze, en laissant l'autre à découvert, la plante voilée ne gèlera pas, et la plante nue gèlera. D'ailleurs les plantes gèlent, par une nuit sereine, même lorsque la lune est sous l'horizon. Donc le rayonnement est la seule cause de ce phénomène.

3. C'est aussi le rayonnement qui produit la rosée. Quand on va prendre des glaces dans un café, on sert en même temps une carafe contenant de la glace, et l'humidité ne tarde pas à se déposer sur la carafe qui en est bientôt entièrement ternie. Or les corps, qui par suite du rayonnement acquièrent le soir une température inférieure à celle de l'air, se trouvent précisément dans les mêmes circonstances que la carafe, et se couvrent d'une rosée d'autant plus abondante que leur pouvoir de rayonnement est plus considérable. Les soldats remarquent en effet au bivouac que leurs habits sont bientôt couverts d'une rosée qui pénètre jusqu'à leur corps, tandis que leur cuirasse et leurs armes n'en offrent pas de traces sensibles : c'est parce que la laine et les étoffes rayonnent beaucoup, et les métaux très-peu.

4. Pline et Plutarque avaient remarqué que la viande, ou toute autre substance animale fraîche, exposée à la lumière de la lune, entrait plus vite en putréfaction que si elle en était garantie par un écran. De là ils avaient conclu que la lumière de la lune répandait une humidité qui hâtait la putréfaction des substances animales. Le fait est vrai, comme celui de la congélation des plantes dans le mois de mai, mais la cause n'en doit pas plus être attribuée à la lumière de la lune. C'est toujours un effet du rayonnement; le ciel étant serein, les substances animales exposées à la lumière de la lune, c'est-à-dire dont le rayonnement s'exécute en liberté, deviennent plus froides que l'air, qui dépose alors à leur surface une partie

de son humidité ; tandis que les substances animales, préservées de la lumière de la lune par un écran qui intercepte leur communication avec les hautes régions de l'espace, n'éprouvent pas de refroidissement inférieur à celui de l'air, et par suite n'en reçoivent pas d'humidité. Ces substances se corrompant d'autant plus aisément qu'elles contiennent plus d'humidité, il en résulte que celle qui a été préservée par l'écran se conservera saine bien plus longtemps que celle qui n'a pas eu le même abri.

Enfin on dit que la lumière de la lune fait noircir la peau ; si l'observation est vraie, cela ne peut sans doute également provenir que du rayonnement de la peau vers les froides régions de l'espace.

5. Les partisans des causes finales disent que la lune a été donnée à la terre pour l'éclairer pendant les nuits. Mais si la lune avait été destinée à cet objet, on l'aurait placée à une distance quatre fois plus grande que celle où elle est réellement pour n'être jamais éclipsée. En outre elle aurait dû être toujours opposée au soleil et se mouvoir dans le plan de l'écliptique même avec une vitesse parallèle à la terre et proportionnelle à la distance solaire. Par ce moyen, la lune eût été constamment pleine, et eût toujours brillé sur l'horizon pendant l'absence du soleil ; mais loin de là, elle n'éclaire nos nuits qu'environ le quart du temps où le soleil est absent.

6. On pense généralement que la lune exerce une influence sensible sur l'atmosphère. Théophraste le croyait; et depuis, bien des savants l'ont soutenu. Maintenant il n'y a pas un marin, pas un agriculteur qui n'y croie encore. L'observation attentive des phénomènes météorologiques prouve qu'il n'est pas vrai que le passage de la lune par les points de son orbite où elle devient nouvelle ou pleine, entre dans le premier ou dans le dernier quartier, exerce sur l'atmosphère une action

capable d'amener un changement de temps. Quand on a une idée arrêtée d'avance, on ne tient compte que des cas favorables à son opinion, et non des cas défavorables qui passent inaperçus. Ainsi lorsqu'une personne convaincue de l'influence des phases de la lune sur les changements de temps, en voit arriver un, le jour d'un changement de lune ou de quartier, elle le note et l'enregistre avec soin, tandis que si cette influence ne se vérifie pas cinquante autres fois, elle n'y prend pas garde et n'en tient aucun compte. En outre, ce qu'on appelle changement de temps n'a pas une définition exacte, un sens précis, qui ne soit pas sujet à controverse. Car l'un appellera changement de temps un passage ou la présence d'un nuage; pour un autre, ce sera un vent qui s'élèvera d'un côté, ou soufflera plus fort : pour un autre encore, ce sera le passage d'un temps serein à un temps très-couvert, et ainsi de suite.

7. Il faut donc chercher un phénomène qui ne donne pas lieu à discussion, et où l'on ne puisse pas se tromper, comme le nombre de jours de pluie qu'on peut prendre dans des tableaux météorologiques faits avec soin. Pour opérer avec encore plus d'exactitude et envisager la question sous toutes ses faces, on peut même prendre des points intermédiaires entre les phases principales de la lune, et qu'on nomme *octants*, le premier octant étant à égale distance de la nouvelle lune et du premier quartier, le second octant à égale distance entre le premier quartier et la pleine lune, le troisième octant à égale distance entre la pleine lune et le troisième quartier, enfin le quatrième octant à égale distance entre le dernier quartier et la nouvelle lune. La considération des octants peut paraître minutieuse à la société qui n'en tient pas compte; mais ils sont fort importants aux yeux de l'astronome.

8. En opérant sur une grande base d'observations embrassant un certain nombre d'années, on a reconnu que le nombre de jours de pluie atteignait son *maximum* le jour du second octant, et son *minimum* le jour du dernier quartier. Ce résultat remarquable, et qui montre que la lune a une *certaine* influence sur l'état de l'atmosphère, est bien éloigné des idées populaires qui attribuent les changements de temps aux quatre phases principales de la lune, mais il ne donne pas matière à discussion, parce qu'il est simplement l'énoncé d'un fait.

9. Ce résultat est d'ailleurs parfaitement confirmé par une autre preuve également matérielle. La quantité d'eau qui tombe à Paris est de 56 centimètres, c'est-à-dire qu'en supprimant les maisons, tout le sol de Paris serait couvert de 56 centimètres d'eau, s'il n'y avait pas évaporation ni infiltration. A l'Observatoire, on reçoit dans un vase l'eau de la pluie, et l'on a soin de la préserver de l'évaporation en la faisant parvenir, à mesure qu'elle tombe, dans un second vase destiné à cet effet. Il y a un réservoir placé sur la plate-forme supérieure, et un autre dans la cour; l'observation présente ce phénomène remarquable, qu'il tombe un sixième d'eau de plus dans la cour que sur la plate-forme. L'explication de ce fait se déduit de la manière dont la pluie parvient à la terre. Le froid augmente à mesure qu'on s'élève au-dessus du sol, et il arrive un moment où les nuages se trouvant suffisamment condensés par le refroidissement, la pluie s'en détache par petites gouttelettes froides, qui, venant à traverser en descendant des couches de plus en plus chaudes de l'atmosphère, se recouvrent de plus en plus de l'humidité qu'elles leur absorbent. C'est le même phénomène que celui d'une carafe (5) contenant de l'eau très-froide, et mise dans un appartement plus chaud. On conçoit que les gouttes de pluie qui traversent une plus

grande profondeur de l'atmosphère doivent être plus grosses, et cette différence doit être plus sensible lorsque la portion d'atmosphère que la pluie traverse en plus est celle en contact avec la terre, c'est-à-dire la plus chaude et la plus chargée de vapeurs. Aussi trouve-t-on un sixième d'augmentation de volume pour une différence d'atmosphère traversée, égale à la hauteur de l'Observatoire, où chaque jour la quantité d'eau tombée, soit sur la plate-forme, soit dans la cour, est mesurée avec le plus grand soin.

Les résultats montrent en outre que le *maximum* d'eau reçue dans les vases a lieu le jour du deuxième octant, et le *minimum* le jour du dernier quartier.

10. Enfin d'autres observations faites sur l'état du baromètre, qui baisse, comme on sait, quand il pleut, prouvent que la hauteur du mercure atteint son *minimum* au second octant, et son *maximum* au dernier quartier. Si donc le changement de temps est la cause unique des changements du baromètre, ce résultat était une suite nécessaire des observations que nous venons de rapporter, et ne fait que les corroborer par une concordance parfaite.

La différence entre le *maximum* et le *minimum* des hauteurs du baromètre est très-peu considérable et ne s'élève qu'à peine à 1 millimètre qui marche dans le même sens que les phénomènes. C'est la mesure incontestable de l'action que la lune exerce sur l'atmosphère. La lune agit sur l'Océan par voie d'attraction et y produit le phénomène régulier des marées, de sorte que l'instant de la haute mer est séparé, d'à peu près six heures, de l'instant de la basse mer, les heures des hautes et basses mers variant chaque jour comme celles du passage de la lune au méridien. Or l'examen suivi des observations barométriques montre qu'il n'en est pas ainsi. Ce

n'est ni à la nouvelle lune ni à la pleine lune, mais au second octant que la lune a le plus d'action sur l'atmosphère. En outre, si la lune agissait sur elle par attraction, les résultats devraient être les mêmes à la nouvelle et à la pleine lune, et celui du premier quartier devrait de même égaler celui du dernier quartier. Comme cela n'a pas lieu, il est certain que la lune n'agit pas sur l'atmosphère par attraction.

11. Toaldo, Italien très-distingué, était d'avis qu'il y a des changements de temps occasionnés par les phases de la lune. Mais il avait là-dessus une opinion arrêtée d'avance, et croyait aussi que les ongles et les cheveux poussaient plus rapidement quand on les coupait dans le décours de la lune. Il avait examiné, pour un grand nombre d'années, le nombre des changements de temps qui avaient eu lieu aux quatre époques principales du cours de la lune, nouvelle lune, premier quartier, pleine lune, dernier quartier, et aussi tous les jours intermédiaires. Mais comme il pensait que le mauvais temps que la lune nous amenait à ces quatre époques ne pouvait pas venir ni cesser tout à coup, et qu'il attribuait surtout une grande influence à la nouvelle et à la pleine lune, il englobait avec les observations des jours de ces deux phases celles des deux jours précédant et suivant chacune d'elles. Attachant une moindre importance aux quadratures, il englobait seulement avec les observations de chacun de ces jours celles de la veille et du lendemain. Enfin pour tous les jours intermédiaires il se bornait strictement aux observations de la journée. Il est bien évident qu'avec une telle manière de procéder, il devait trouver plus de changements de temps aux quatre phases principales que dans les jours intermédiaires. Il trouvait en effet 5 contre 1 pour les syzygies, et 3 contre 1 pour les quadratures. Il était impossible de trouver au-

trement, car il opérait de manière à trouver précisément ce résultat, qui se réduit à dire : sur 5 jours il y a 5 fois plus de chances de changements de temps que pour 1 jour, et sur 5 jours il y a 5 fois plus de chances de changements de temps que sur 1 jour. Les résultats trouvés par Toaldo sont même une preuve que la conclusion qu'il en tirait n'est pas vraie. Son nom et sa réputation doivent donc être mis de côté dans cette circonstance, pour ne s'occuper que des résultats numériques eux-mêmes, qui prouvent réellement que les quatre phases principales de la lune n'ont pas d'influence sur les changements de temps.

Il en est de même de l'autorité de Théophraste qui doit être de nulle valeur pour établir cette influence des phases de la lune ; car il est en contradiction avec lui-même dans deux passages différents. En effet, selon l'un de ces passages il doit faire mauvais temps à la nouvelle lune, beau temps à la pleine lune, et selon l'autre il doit arriver un changement de temps à chaque syzygie ou quadrature. Or, s'il fait mauvais temps à la nouvelle lune, le temps changeant au premier quartier deviendra beau, et changeant une seconde fois à la pleine lune redeviendra mauvais, ce qui est contradictoire avec le premier passage cité.

De là on doit conclure que la lune n'a aucune action aux époques de ses phases sur les changements de temps, qu'elle a au contraire sur l'atmosphère une action très-faible indiquée par une variation barométrique s'élevant à peine à une demi-ligne, le *minimum* ayant lieu le jour du second octant et le *maximum* le jour du dernier quartier ; qu'enfin le mode et la nature de cette action ne sont pas connus, mais diffèrent certainement de l'attraction.

La lune n'agissant point sur l'atmosphère par attrac-

tion, il est clair que ses phases ne peuvent avoir d'influence sur les changements de temps, car il faudrait que cette influence inconnue eût la propriété d'amener les nuages après le beau temps, et le beau temps après les nuages ; ce qui est absurde.

12. Quant à l'opinion de ne couper les arbres que dans le décours de la lune, elle est fort ancienne ; et les ordonnances de Louis XIV enjoignaient de ne faire de coupe qu'après l'époque de la pleine lune. Cette prescription a cessé depuis les expériences de Duhamel Dumonceau d'où il résulte que le bois coupé dans le cours était de la même qualité que celui abattu dans le décours. Au reste, comme il fait plus souvent humide dans la période ascendante que dans la descendante, la différence, quoique minime, pourrait bien à la rigueur avoir de l'influence et rendre le bois un peu plus humide que dans le décours; mais l'expérience ne l'a pas encore pleinement constaté.

13. On croyait jusqu'ici que la lumière de la lune n'avait aucune puissance pour produire des effets chimiques, parce que le chlorure d'argent, qui noircit au soleil et même seulement par l'action de la lumière diffuse du jour, reste blanc quand on l'expose à la lumière de la lune. Mais M. Daguerre, en appliquant à la lune l'ingénieux procédé par lequel il est parvenu à reproduire les images des objets terrestres en fixant les rayons lumineux, vient d'obtenir des images de la lune qui démontrent, malgré leur imperfection, que les rayons lunaires ne sont pas dépourvus de toute puissance.

DEUXIÈME APPENDICE,

SUR

LES PRÉTENDUES INFLUENCES DES COMÈTES.

—

SOMMAIRE.

Opinion erronée de l'influence des comètes. — Opinion de Newton sur la conflagration du soleil entretenue par les comètes. — Opinion de Buffon sur la formation des planètes par le choc d'une comète contre le soleil. — Opinion erronée de la formation des planètes ultra-zodiacales par le choc d'une comète. — Opinion erronée d'un ancien choc de comète contre la terre et contre la lune. — Opinion erronée des brouillards secs produits par la queue d'une comète. — De l'anneau de Saturne formé par une comète. — — De la lune autrefois une comète. — Du déluge causé par une comète. — Improbabilité que la terre devienne le satellite d'une comète ; effets qui en résulteraient. — Effets de la coïncidence de l'écliptique avec l'équateur.

1. Toutes les fois qu'il apparaît une comète, et que l'année est chaude, la comète est accusée de la chaleur. Or, les comètes n'ont pas la moindre influence sur la température. Car si l'on met en regard toutes les observations météréologiques faites depuis cent ans qu'on en tient une note exacte dans les observatoires, on voit qu'il n'y a pas eu plus de chaleur dans les années à comètes que dans celles sans comètes. Les temps couverts, les changements de vents peuvent occasionner des variations de température dont on ne connaît pas en général la vraie cause. On a eu des années très-froides comme 1808 où l'on observa quatre comètes. La température moyenne de toutes les années à comètes n'offre qu'un demi-degré centigrade de différence sur celle d'un même nombre d'années sans comètes. Cette différence, très-légère à la vérité, est en faveur des années à comètes; ce qui s'explique naturellement, parce que les comètes n'étant visibles que par un ciel serein, le nombre total des comètes observées, et non

leur nombre réel, doit être, toutes choses égales d'ailleurs, plus considérable dans les années sereines. Mais on a été plus loin, et l'on a comparé les années à une comète et les années à deux comètes. La différence des températures moyennes s'est trouvée très-petite, mais en faveur des années à une comète. Par conséquent, les années très-chaudes, où ces astres ont été observés, comme l'année 1811, dont le vin a été célèbre sous le nom de vin de la comète, sont des faits isolés qui ne peuvent servir à établir une opinion raisonnable dans une question de cette importance.

2. La théorie vient ici confirmer les résultats de l'observation. Car une comète ne peut agir sur la terre que par sa lumière, ou par le mélange de sa queue à l'atmosphère terrestre, ou enfin par attraction. D'abord il n'y a pas une comète qui jette sur la terre une lumière égale à la vingtième partie de celle que la lune y envoie, laquelle a été trouvée sans aucune action sur la boule noircie d'un thermomètre à air, même étant concentrée au foyer des plus fortes lentilles. Par conséquent, la lumière de la comète n'en aura pas davantage, fût-elle bien plus considérable, ce qui est pleinement confirmé par l'expérience. Quant au mélange de la queue avec l'atmosphère, la comète de 1811, qui s'est le plus rapprochée de la terre, n'en a jamais été plus près que 20 millions de myriamètres, et sa queue, occupant un espace du ciel égal à 23° qui répond à une longueur de 18 millions de myriamètres, avait encore son extrémité à 2 millions de myriamètres de distance dans sa position la plus voisine ; ainsi le mélange de l'atmosphère avec la matière de la queue de la comète n'a pu avoir lieu, ni par conséquent amener une élévation de température, ou nous occasionner tout autre phénomène physique. Quant à l'attraction enfin, on sait que la lune produit des marées atteignant jusqu'à 7 mètres de hauteur, comme le montrent les observations faites dans plusieurs ports. Or, les mêmes observations, faites avec la plus grande exactitude, n'ont jamais pu constater la moindre perturbation dans les marées, même à l'époque du plus grand voisinage des plus brillantes comètes. Ces astres, n'ayant donc aucune influence sur le phénomène des marées, pendant que la lune en a une aussi forte, ne peuvent donc agir par attraction sur notre globe; ce qui doit en effet résulter de la petitesse de leur

masse, également sans action même sur les mouvements des plus petits satellites de notre système.

3. Newton croyait que la lumière était une émanation de la substance même du soleil, qu'il supposait un foyer ardent. Dans cette idée le soleil devait finir par s'épuiser, s'il ne pouvait réparer les pertes qu'il éprouvait en projetant ainsi sa matière. Newton admettait donc que les comètes allaient se précipiter dans le soleil pour l'entretenir en conflagration. Ces idées ne sont plus de notre temps, et le soleil ne peut plus être assimilé à un feu ordinaire, ni les comètes à des *bûches* propres à l'alimenter. Car des corps, même dans le récipient de la machine pneumatique, peuvent être rendus lumineux, ou plus lumineux s'ils le sont déjà, par l'action de la pile voltaïque, sans dégagement ni absorption de la part de ces corps. On a même donné le nom de lumière solaire à celle offerte par deux charbons très-rapprochés et en contact chacun avec le pôle d'une pile, parce qu'elle est extrêmement éclatante et l'emporte sur toute autre que nous pussions produire. Newton expliquait aussi les apparitions subites d'étoiles, comme celle de Cassiopée, par des comètes qui allaient ranimer ces soleils éteints. Mais cette explication n'est pas meilleure que celle qu'il donnait pour l'entretien de la conflagration de notre soleil.

4. Nous avons vu que toutes les planètes et les satellites avaient un mouvement général de translation et de rotation dirigés l'un et l'autre d'occident en orient, et s'effectuant presque dans un même plan. En outre le soleil a également un mouvement de rotation aussi dirigé d'occident en orient. Il y a plus de quatre milliards à parier contre un que cet ensemble de 43 mouvements dirigés dans le même sens n'est pas l'effet du hasard. Buffon avait assigné pour cause générale de cette disposition la chute d'une comète sur le bord du soleil, dont les matières inégalement denses, détachées par ce choc, auraient été projetées à des distances inégales, plus grandes pour les parties les moins denses, et auraient formé par leur refroidissement des globes opaques et solides qui sont les planètes et les satellites. Dans ce cas, les planètes auraient bien eu toutes un mouvement de translation dirigé dans le même sens; mais le mouvement de rotation aurait pu s'effectuer en sens contraire. De plus, d'après la théorie des forces centrales, si la matière des planètes émanait d'un

point du soleil supposé solide, elles devraient, en décrivant leur orbite autour du soleil, revenir à chaque révolution au point de départ. Aussi Buffon partait-il de l'hypothèse, reçue de son temps, que le soleil était un océan de feu, un liquide brûlant, dont un torrent projeté par la comète s'était condensé en différents points d'autant plus éloignés du soleil, que les parties de matière étant moins denses avaient jailli plus loin. Or nous savons maintenant que la partie extérieure du soleil est un gaz, ce qui renverse le système de Buffon.

5. En parlant des quatre petites planètes récemment découvertes, nous avons dit (Cosmogr., n° 142) qu'elles provenaient probablement de l'explosion d'une seule planète. Si cette hypothèse est vraie, chaque fragment étant déjà dès le point de départ, à l'époque même de l'explosion, une planète se mouvant selon les lois de Képler, chacune, d'après le principe des forces centrales dont nous venons de parler, devra revenir à chaque révolution au point même où l'explosion a eu lieu; de sorte que les orbites des quatre planètes doivent se rencontrer en un même point de l'espace. Or c'est précisément ce qui a lieu, en tenant toutefois compte des perturbations qu'elles ont dû éprouver. Ainsi, au moment de l'explosion, les quatre fragments partant d'un point commun furent projetés dans des routes diverses et avec des vitesses différentes, par suite de l'inégalité des forces agissant sur eux.

En examinant ces quatre petites planètes avec des télescopes d'un grand pouvoir, on a vu que Cérès et Pallas étaient entourées chacune d'une atmosphère d'environ 120 myriamètres de hauteur, tandis que les deux autres, surtout Vesta, en étaient sensiblement dépourvues.

En supposant que l'atmosphère de Cérès et de Pallas provienne de la queue de la comète dont le choc a déterminé l'explosion de la planète en question, on ne voit pas pourquoi l'atmosphère de cette queue ne se serait pas répartie à peu près également autour des 4 planètes. Si au lieu du choc d'une comète, on suppose que c'est une secousse intérieure qui a déterminé l'explosion de la planète primitive, par exemple la force expansive de gaz développés par des feux souterrains et ne trouvant aucun passage pour s'échapper, l'objection reste la même. Car l'atmosphère de la planète primitive aurait du se répartir sur les quatre planètes secondaires, et si elle en était dépourvue, comment Cérès et Pallas en auraient-elles

d'aussi étendues? C'est encore une des lacunes qu'offre l'état actuel de la science. Elle ouvre à la fois un beau sujet de méditations ainsi qu'un vaste champ d'observations à nos grands astronomes. C'est probablement par cette raison qu'Herschel n'attribue pas à ces quatre planètes une origine commune, dont il assimile l'idée à un rêve innocent.

6. Voici quelques considérations sur la possibilité que la terre ait été autrefois choquée par le noyau d'une comète ou rencontrée par sa queue.

Supposons qu'un corps d'une figure quelconque reçoive une impulsion passant par son centre de gravité, il en résultera pour toutes les parties de ce corps une égale vitesse, de sorte que l'effet de l'impulsion sera d'imprimer seulement au corps un mouvement général de translation dans l'espace. Mais si l'impulsion primitive n'agit pas dans la direction du centre de gravité, il en résultera pour toutes les parties du corps des vitesses inégales, par suite desquelles le corps prendra un mouvement de rotation autour de son centre de gravité, outre le mouvement général de translation qu'il aurait eu seul si l'impulsion eût passé par ce centre. Le double mouvement de translation et de rotation de la terre, des planètes et des satellites, se déduit donc facilement de la supposition d'une impulsion primitive qui n'a point passé par leur centre de gravité.

Quand c'est un corps parfaitement sphérique et homogène qui reçoit l'impulsion, son axe de rotation passe invariablement par le centre et par les mêmes points de sa surface. Si le corps n'est pas sphérique, le mouvement de rotation ne s'exécute pas toujours autour du même axe matériel, mais autour d'axes successifs différents, changeant à chaque instant, et appelés pour cette raison *axes instantanés de rotation.* Les géomètres, recherchant toutes les variations que pouvait ainsi éprouver un corps hétérogène d'une figure et d'une nature quelconque, indépendamment des forces qui ont primitivement agi sur lui, ont été conduits à ce résultat remarquable, qu'il existe pour chaque corps trois axes perpendiculaires entre eux, tels que si le corps tourne autour de l'un de ces trois axes, ce sera toujours autour de lui qu'il tournera, tant qu'il ne sera pas soumis à l'action de forces étrangères. Ces trois axes, qui passent par le centre de gravité du corps, sont appelés *axes principaux de rotation.* C'est ce qui a lieu pour

la terre, elle tourne constamment autour du même axe matériel, dont les intersections avec sa surface donnent les mêmes points matériels qui sont les pôles. Les divers points de la terre conservent donc entre eux leurs mêmes distances absolues. Quand on a déterminé le méridien de Paris, on a placé des mires méridiennes de distance en distance, dont la première est à Mont-Rouge. Ces mires seront à perpétuité sur le méridien de Paris. La verticale élevée au pôle passera toujours, non à la même distance de l'étoile polaire qui dans la suite des siècles changera de position, mais par le centre des circonférences que décrivent les étoiles dans leur mouvement diurne. Le capitaine Parry aurait eu ce singulier spectacle, s'il avait pu arriver au pôle, dont il s'approcha jusqu'à la distance de 5°. L'axe de la terre ne reste point parallèle à lui-même dans le mouvement de translation, et subit de petites oscillations en vertu de la nutation; mais la terre se déplace en totalité avec lui. Or, si la terre avait éprouvé un choc de la part d'une comète, son axe principal et invariable de rotation eût été remplacé par un axe variable et instantané, de sorte qu'à chaque instant les pôles matériels auraient changé à sa surface. Ainsi Paris, au lieu de conserver sa même latitude nord de 48° 50′ 14″, aurait eu successivement 48°, 47°, 46°... de latitude. Comme on n'a jamais rien observé de pareil, il en résulte que la terre a conservé jusqu'ici le même axe principal de rotation qu'elle a eu dès l'origine, et par conséquent elle n'a pas été choquée par une comète, ayant du moins une masse capable de déranger son axe. Ceci suppose la terre solide, et n'est plus aussi bien applicable au cas où l'intérieur serait encore fluide, comme c'est probable ou du moins possible; parce qu'alors un axe instantané de rotation pourrait peut-être redevenir un axe principal, par suite des oscillations du fluide intérieur autour de chaque nouvel axe. Mais comme cet axe principal ne se formerait sans doute pas de suite, il est à présumer qu'il en serait résulté dans les latitudes terrestres des variations qu'on n'a jamais observées. D'où l'on peut conclure encore, toutefois avec moins d'assurance que dans le premier cas, que le choc par une comète n'a pas eu lieu.

7. Nous avons vu que la lune présentait toujours la même face au globe terrestre. D'après cette disposition, la lune encore à l'état fluide a dû s'allonger un peu vers la terre, en

vertu de l'attraction que celle-ci exerçait sur elle. Si le mouvement de rotation et le mouvement de révolution ont été primitivement peu inégaux, il a dû en résulter pour la lune de petites oscillations périodiques, en vertu desquelles la ligne joignant le centre de la terre au centre de la lune ne perce pas toujours la surface lunaire au même point, ce qui constitue la libration. Mais les petites oscillations produites par l'action de la terre n'altéreront pas le mouvement de rotation. L'égalité approximative qui existait à l'origine de la lune ne s'est donc pas dérangée. La terre exerce sur la lune la même action que sur un pendule auquel on fait faire de petites oscillations, et qu'elle ramène vers elle lorsqu'il a été écarté; de plus, si l'on suppose l'œil d'un observateur placé au pied de la verticale autour de laquelle oscille légèrement le pendule, censé une sphère, il ne verra guère que l'hémisphère tourné de son côté. Mais si l'on augmente la force qui écarte le pendule, jusqu'à ce qu'elle l'emporte sur l'attraction terrestre, le pendule décrira une circonférence entière et montrera successivement à l'observateur tous les points de sa surface. De même, si une comète vient à choquer la lune, elle ne fera pas varier également ses mouvements de révolution et de rotation, mais les oscillations de la lune augmenteront d'autant plus que la différence des deux mouvements deviendra plus considérable, et, par suite, on découvrira des portions d'autant plus grandes à gauche et à droite de l'hémisphère qu'elle nous présente habituellement. La différence peut même être telle qu'on voie en entier l'hémisphère opposé. Comme la lune nous présente toujours la même face, sauf la libration qui est presque insensible, il en résulte que la lune n'a jamais été choquée par une comète, à moins peut-être que sa masse n'eût été bien plus petite qu'un cent-millième de celle de la terre, ce qui eût suffi, selon le calcul de Laplace, pour rendre sensible la libration réelle de notre satellite; mais le fait n'a jamais été observé.

La lune exerce sur la terre une réaction qui ne dérange pas non plus l'axe principal de rotation, mais lui communique une petite oscillation constituant la nutation.

8. S'il n'est pas probable que la terre ait été choquée par une comète, il l'est au contraire qu'elle a quelquefois passé dans la queue d'une comète, par suite de l'immense développement dont cet appendice est susceptible, quoique le fait

n'ait jamais été constaté. En outre les comètes n'ayant qu'une masse très-faible, et l'attraction s'exerçant, comme on l'a déjà vu, en raison directe des masses et inverse du carré des distances, la terre, ayant une masse bien plus grande que celle des comètes, a pu absorber les particules situées à l'extrémité de leurs queues. Mais on ignore quel effet a dû en résulter. Cela dépend de la nature de la matière gazeuse qui viendrait se mêler à l'atmosphère terrestre. Plusieurs savants, entre autres M. Forster, ont attribué à un tel mélange toutes les pestes et toutes les épidémies qui ont affligé l'espèce humaine. On y a même ajouté le choléra. Mais cette maligne influence ne se bornerait pas alors à telle province ou même à telle ville, et on ne peut expliquer pourquoi elle ne s'étendrait pas aussi bien à telle autre région voisine. Au reste, comme il n'y a pas d'année où l'on n'observe maintenant au moins une comète, chacun peut lui attribuer avec autant de raison tout le bien ou tout le mal qu'il voudra.

En 1783, il se forma à la surface de la terre, surtout en Europe, un épais brouillard sec, sans action sur l'hygromètre, et qui dura six semaines. Mais ce brouillard recouvrait seulement la surface de la terre, et non celle de l'Océan, de sorte qu'on ne peut l'attribuer au mélange de la queue d'une comète avec l'atmosphère, car les navigateurs l'auraient aperçue, et ils ne virent jamais ni la tête ni la queue de la comète. Cette même année eurent lieu les fameux tremblements de terre de Calabre, où il périt plus de 40 mille personnes. Le mont Hécla en Islande eut aussi une irruption considérable suivie de torrents de fumée très-épaisse. Peut-être le brouillard fut-il une suite de cette catastrophe, et causé soit par la dispersion de la fumée de l'Hécla, soit par l'épanchement des matières gazeuses sorties du sein de la terre dans ses nombreux déchirements. Un brouillard analogue se répandit en 1831, principalement sur la partie de l'ancien continent située entre le midi de la France et la Chine. On pouvait fixer impunément le soleil qui parut successivement de diverses couleurs. Le même brouillard répandait une clarté telle, qu'on pouvait lire la nuit. Mais il fut loin d'être général, et dans les contrées où il apparut, il y eut des nuits très-sereines et très-claires; cependant on n'aperçut pas de comètes. Le brouillard ne pouvait donc pas provenir du mélange de leurs queues avec l'atmosphère, quoique proba-

blement le fait ait quelquefois dû arriver, et passer inaperçu.

9. On a encore prétendu que l'anneau de Saturne avait été produit par la queue d'une comète, qui, rencontrant la planète, s'était enroulée tout autour; mais la queue d'une comète est conique, et non une surface plane, puisqu'on ne l'a jamais observée sous cette forme. D'ailleurs si la queue d'une comète s'était enroulée autour d'une planète par suite de son attraction, elle l'eût enveloppée en entier, en formant autour d'elle une surface concentrique. Or l'anneau de Saturne est extrêmement mince et plat. Maupertuis avait adopté cette opinion pour expliquer l'origine de l'anneau de Saturne, mais il vaut bien mieux dire qu'on ne la connaît pas, plutôt que de lui en attribuer une aussi invraisemblable, ou plutôt aussi déraisonnable.

10. Quelques auteurs ont prétendu que la lune avait été une comète, ce qui s'accordait avec les idées d'amour-propre des Acadiens, se glorifiant que leurs ancêtres vivaient dans un temps où il n'y avait pas encore de lune, et par conséquent étaient plus anciens qu'elle. On supposait alors qu'une comète, étant venue à passer près de la terre, avait été maintenue dans sa sphère d'activité, en devenant son satellite. Le fait est d'autant moins probable que la lune n'a pas d'atmosphère, et que la nébulosité de la comète ne s'en serait pas séparée dans cette hypothèse. Au reste on n'en sait rien. Il est bon de remarquer qu'on disait à l'appui de cette opinion que la lune était un corps brûlé, et que pour devenir le satellite de la terre elle avait dû passer près du soleil. Or la lune n'est pas brûlée, comme le serait une comète par sa trop grande proximité du soleil; mais elle offre des traces de l'action de ses anciens volcans, dont plusieurs doivent être ou ont dû avoir été très-actifs.

11. Whiston a traité et développé l'opinion, que le déluge avait été causé par une comète. Cependant Whiston était un Anglais très-savant, et Newton, à la fin de sa carrière, l'avait désigné pour le remplacer dans sa chaire.

La date précise du déluge de Noé est incertaine. Selon Moïse et les Hébreux, il eut lieu l'an 2349 avant notre ère. La version des Septante le recule jusqu'à 2926 ans. Whiston prétend qu'il provient de la comète de 1680, quelle que soit celle de ces deux dates que l'on choisisse pour la véritable. Nous avons vu (Cosmogr., nº 155) qu'on ne pouvait reconnaî-

tre une comète par son aspect, ni par sa constitution physique, mais d'après les lois de son mouvement. Cette comète de 1680 est une des plus grandes qu'on ait observées dans les temps modernes; mais les anciens ne nous ayant transmis aucune observation à cet égard, on ne peut à la rigueur constater l'identité de cette comète avec quelqu'une des temps passés. Voyons ce que nous apprennent là-dessus les anciens auteurs. Une comète très-brillante apparut en 1106, une autre en 531, enfin une autre l'an 43 avant notre ère, c'est celle de la mort de Jules-César. Doit-on voir là quatre apparitions d'une même comète? Peut-être oui, peut-être non. Son éclat à chaque apparition semble indiquer que c'est la même, et quoiqu'on n'ait pas calculé les lois de son mouvement, ce qu'on connaît de chaque position relativement aux constellations n'y répugne pas. Cette opinion est en outre suffisamment justifiée par l'intervalle à peu près constant qu'on observe entre deux apparitions consécutives. Car de 1106 à 1680 il y a 574 ans, de 531 à 1106 il y en a 575, et en ajoutant 43 à 531 l'on a 574. Cette rencontre remarquable montre donc que c'est probablement la même comète revenue quatre fois. La différence d'un an qu'on remarque dans les résultats est peu de chose en raison de sa très-longue révolution, de son grand voisinage du soleil, et des perturbations qu'elle peut éprouver en entrant dans la sphère d'activité de Jupiter, de Saturne, etc. En outre on n'a pas tenu compte de l'époque précise de ses apparitions. La comète de Halley, qui est revenue en 1835, parcourt son orbite en 75 ans, et a déjà éprouvé une déviation de 18 mois.

Whiston a dit qu'un nombre déterminé de révolutions de cette comète de 1680 ramenait sur l'une ou sur l'autre époque du déluge de Noé. En effet, prenant 575 ans pour la durée de sa révolution, on voit que 575 multiplié par 4 donne 2300, qui augmenté de 43 fait 2343. La différence entre cette date et celle du déluge, d'après Moïse, est de 6 ans. Mais la comète, passant très-près du soleil, doit éprouver de la part de l'éther une résistance qui diminue successivement la durée de sa révolution, de sorte que, dans ces temps très-reculés, on peut la supposer égale à 577 ans ou un peu moins, ce qui ramènera sur l'époque du déluge, d'après Moïse ou d'après les Septante, selon qu'on multipliera cette période par 4 ou par 5. La rencontre a donc également lieu dans les deux cas, et le

raisonnement de Whiston est ainsi également bon, ou plutôt également médiocre.

Cela posé, comment le déluge a-t-il été occasionné? L'Écriture dit : *Les fontaines du grand abîme furent rompues et se répandirent sur la terre; les cataractes du ciel s'ouvrirent, et la pluie tomba pendant quarante jours.*

Whiston admet que la terre est composée d'une croûte d'une certaine épaisseur, reposant sur un océan intérieur. Alors, selon lui, la comète, venant à une grande proximité de la terre, aura produit une énorme marée dans cet océan intérieur, lequel, venant à briser la croûte de la terre, aura inondé sa surface ; ou bien la comète, rencontrant la croûte terrestre, l'aura brisée, et aura ouvert de même un passage à l'océan. Il restait à ouvrir les cataractes du ciel. Whiston supposait que la queue de la comète était composée d'éléments aqueux, et balayait la surface de la terre en l'aspergeant d'eau. Whiston a commis de graves erreurs dans son explication du déluge; il ignorait alors qu'on pourrait calculer la vraie distance de la comète à la terre à cette époque. Or, cette distance a été de 1300 myriamètres dans le point de son orbite où elle s'est le plus rapprochée de la terre. Par conséquent elle n'a pu rencontrer la croûte terrestre. En outre, la lune exerce à la vérité sur la mer une influence très-grande, et produit des marées atteignant une grande hauteur, surtout à Granville et à Saint-Malo, où elles sont les plus fortes. Mais la lune reste très-longtemps au-dessus du point qu'elle soulève ensuite. Or, la comète, qui dans sa course rapide parcourt 30° en une heure, exercerait bien sur l'eau une grande action si elle avait une masse considérable, mais cette action serait instantanée; de sorte que l'eau aurait une tendance à se soulever sous le méridien où la comète se trouverait; mais comme elle ne resterait qu'un instant très-petit dans chaque méridien, la marée ne pourrait se réaliser. D'ailleurs, en admettant l'hypothèse de Whiston sur la constitution intérieure du globe, et l'action de la comète sur cet océan central, toujours est-il qu'en comparant les positions de la comète les plus voisines de la terre à l'époque du déluge et en 1680, on voit qu'elle s'en est bien plus rapprochée dans cette dernière révolution, et qu'ainsi elle aurait dû produire un déluge encore bien plus considérable. Cependant rien de tout cela ne s'est réalisé ; ni les fontaines du grand abîme, ni les

cataractes du ciel ne se sont ouvertes. D'un autre côté, il tombe 55 à 60 centimètres d'eau dans l'année, et s'il pleuvait sans interruption pendant 40 jours, l'eau n'irait pas au milieu de la hauteur de l'Observatoire de Paris; par conséquent, une telle pluie aurait un résultat bien faible auprès d'un déluge universel.

L'hypothèse de Whiston est donc inadmissible, et même complétement fausse. Tel est en général le sort de toutes les opinions fondées sur des théories plus ou moins ingénieuses, au lieu d'être le résultat de faits scrupuleusement observés et envisagés sous toutes leurs faces.

12. Halley supposa de même que le déluge avait été produit par la rencontre d'une comète qui était venue s'opposer au mouvement de la terre ; et son opinion, qui précéda celle de Whiston, était fondée sur les productions marines trouvées sur les plus hautes montagnes. Newton, qui était un homme extrêmement pieux, s'opposa à la publication des notes de Halley, qui parurent plus tard. Mais si la terre s'arrêtait par la rencontre d'une comète, ce n'est point par le déluge que périrait l'espèce humaine. Un chariot à vapeur se meut dans un chemin de fer avec une vitesse de 10 myriamètres à l'heure. S'il vient à s'arrêter brusquement, soit par la rencontre d'un autre chariot, ayant lieu à une intersection d'ornières, soit par accident, les voyageurs animés de la vitesse du chariot seront lancés dans l'espace comme des projectiles, et iront décrire des paraboles avec une vitesse initiale de 10 myriamètres à l'heure. Quand un fiacre s'arrête subitement, on est seulement lancé d'une banquette à l'autre, parce que les fiacres ne vont pas très-vite. Si le cheval d'un tilbury s'abat, on ne tombe pas à la même place, mais on est lancé en avant de lui. De même si la terre s'arrêtait par la rencontre d'une comète, tout ce qui ne fait pas corps avec elle serait projeté dans l'espace avec une vitesse de 5 myriamètres par seconde. Il est clair que cette catastrophe amènerait la destruction immédiate de l'espèce humaine. En outre, la mer, ne faisant pas corps avec la terre proprement dite, serait projetée au-dessus des plus hautes montagnes, de sorte que tout ce qui existerait à la surface des continents et des îles serait englouti par cette irruption de l'Océan. Enfin, si la terre s'arrêtait, la force centrifuge se trouvant détruite,

la terre céderait à l'attraction du soleil, et y arriverait en 64 jours et demi. Par conséquent, en supposant qu'on ait pu échapper à la destruction par projection ou par engloutissement, on serait anéanti dans le soleil ; ce qui prouve, d'ailleurs, que la terre ne s'est jamais arrêtée par la rencontre d'une comète ou autrement. Mais si la terre, au lieu de s'arrêter, éprouvait seulement une diminution sensible dans son mouvement, l'espèce humaine n'en serait pas moins détruite; car les catastrophes qui en résulteraient, pour être un peu moins épouvantables que celles qu'on vient d'exposer, n'en seraient pas moins suffisantes pour cet effet. Halley prétendait qu'un choc de cette nature avait produit une immense inondation qui avait fait le déluge. Or, la présence des productions marines sur les plus hautes montagnes, comme les plantes, les coquillages, etc., sur laquelle Halley fondait son opinion, lui est précisément contraire; car l'examen de ces productions marines montre qu'elles se sont développées dans la station où elles se trouvent, et par conséquent n'y ont pas été projetées.

13. L'opinion la plus probable, et qu'on commence à adopter, est celle établie par M. Élie de Beaumont, géologue très-savant et très-érudit. D'après lui, les montagnes ont été soulevées par des feux souterrains. Ainsi les productions marines qui s'y trouvent auront été d'abord, comme l'observation l'indique, dans des lieux plats et submergés devenus ensuite des lieux élevés. De tels phénomènes se sont produits sous nos yeux. Dans l'intervalle d'une seule nuit, une vaste étendue de terre s'est subitement élevée de 160 mètres au Mexique. Une petite île, qui fut appelée Julia, naquit dans la Méditerranée, et disparut ensuite. Dans l'intervalle d'une seule nuit, une montagne, médiocre à la vérité, surgit près de Naples, mais il est bien permis de supposer qu'une cause plus puissante a pu produire des soulèvements plus considérables.

14. Si la terre éprouvait un ralentissement dans son mouvement par le choc d'une comète, l'axe et l'équateur changeraient; si l'axe allait passer à Brest, où la vitesse n'est que de 1,8 myriamètre par seconde, l'Océan se jetterait à travers le continent, et de même si l'équateur allait passer à Brest. La terre a-t-elle éprouvé quelquefois des catastrophes

de cette nature? Voyons si l'on peut résoudre la question par la forme du globe. Si l'on regarde une mappemonde, on voit que tous les continents sont terminés en pointe, l'Amérique par le cap Horn, l'Afrique par le cap de Bonne-Espérance, la presqu'île de l'Inde en deçà du Gange par le cap Comorin, etc. Dans le voisinage de ces caps, il y a des îles, la Terre de Feu, les Malouines, au sud de l'Amérique; l'île de Madagascar, l'île de France, l'île Bourbon, au sud de l'Afrique; au sud de l'Asie, l'île Ceylan et une immense quantité d'îles; au sud de la Nouvelle-Hollande, la terre de Diemen, etc. On a supposé qu'un énorme courant, provenant de l'action d'une comète sur l'Océan, avait corrodé les continents et produit la disposition uniforme que nous leur voyons maintenant. Ce courant venait dans la direction du sud-ouest, et poussait devant lui tous les détritus emportés de ces continents, de sorte que venant à rencontrer une montagne, ou chaîne de montagnes, qui lui résistait, il projetait toutes ces matières de l'autre côté de la montagne, et corrodait la partie qui lui faisait obstacle en battant contre. Alors les matières lancées par-dessus le sommet de la montagne, n'étant plus dans un courant d'eau, s'arrêtaient, et se déposant sur le revers opposé à la direction du courant, en adoucissaient la pente. A l'appui de cette opinion, on citait la chaîne des Pyrénées, dirigée de l'est à l'ouest, et qui est plus rapide, plus abrupte, du côté de l'Espagne que du côté du nord; la chaîne de l'Atlas, aussi dirigée de l'est à l'ouest, et, dit-on, plus abrupte au midi qu'au nord; la chaîne des Alpes, plus abrupte au midi; de même celle de l'Himalaya, puis celle des Cordilières, courant du nord au sud, et dont le flanc occidental est plus abrupte que l'oriental; il en est de même des montagnes de la Suède et de plusieurs autres chaînes. Mais il s'en faut de beaucoup que cette règle soit générale; le Jura, par exemple, très-peu rapide vers la France, est à pic vers le lac de Genève. Les Alpes offrent une réunion de plusieurs chaînes différentes qui offrent indifféremment, soit vers le midi, soit vers le nord, une pente insensible; il y a encore beaucoup d'autres objections contre cette théorie, qui doit être abandonnée, et l'on doit admettre comme règle générale que partout les pentes sont plus abruptes vers la mer la plus voisine, ou à très-peu près.

15. La face orientale du Jura est parsemée de blocs grani-

tiques, la face occidentale n'en a pas un seul. C'est encore la comète qu'on a prise pour expliquer la formation d'un courant venu des Alpes, d'où il aurait transporté ces blocs jusqu'à la rencontre du Jura qui les aurait arrêtés par sa face orientale. Or, la vaste région située entre Utrecht et la Pologne est parsemée de blocs exactement semblables. Leur constitution et l'analyse chimique montrent que les uns et les autres ne peuvent provenir que d'une chaîne de montagnes de la Suède. D'ailleurs le courant, qui aurait transporté les uns sur le Jura, n'a aucun rapport avec celui qui aurait amené ceux de la Pologne. Donc l'explication est fausse. Cette théorie a été faite, comme presque toutes les autres, *à priori ;* on cherche ensuite à faire cadrer la constitution du globe avec les rêves de l'imagination. Il en est de même dans toutes les sciences d'observation, où là, plus que dans toutes les autres, on devrait se borner, encore pour longtemps, à ne présenter qu'une bonne série de faits solidement établis et étudiés avec intelligence, sous toutes leurs faces et dans tous leurs rapports respectifs. Mais il est bien plus facile de se faire un nom avec de belles théories, sauf à les remplacer, peu de temps après, par d'autres aussi peu fondées sur la nature, comme cela se voit encore fréquemment de nos jours, et bien malheureusement, parce que toutes les théories erronées, loin de contribuer aux progrès des lumières, ne font que mettre une série de chimères à la place de la vérité, et ont en outre l'inconvénient immense de rebuter la jeunesse, en la forçant d'apprendre et de désapprendre sans cesse.

Au reste, pour revenir aux *méfaits* des comètes qu'on accuse de tout, on peut être certain que, quand on a recours aux comètes pour expliquer des phénomènes naturels de notre globe, les choses doivent rester précisément au même point où elles étaient avant la prétendue explication, quelque étalage d'érudition qu'elle présente d'ailleurs.

16. En 1771, on trouva dans les glaces de la Sibérie un rhinocéros, et en 1799 un éléphant énorme, tous deux non putréfiés; les chiens des chasseurs en dévorèrent une partie. Pour expliquer cette singulière découverte, on a dit que la Sibérie avait été autrefois une région équatoriale; que la terre, ayant été choquée par une comète, l'axe de rotation s'était déplacé, et que la Sibérie s'étant rapprochée du pôle,

était devenue une region glacée, ce qui aurait eu lieu, en effet, dans une telle hypothèse. Car si Quito, par suite d'un tel bouleversement, venait au pôle, toutes les eaux y seraient gelées en 24 heures.

Cette opinion sur le changement de climat de la Sibérie est admise par de très-célèbres naturalistes, non astronomes du reste, et développée dans leurs ouvrages.

Or, il suffit de réfléchir un instant sur la forme du globe, pour voir combien cette explication est fausse. La terre est un ellipsoïde, ou, comme on dit, un sphéroïde aplati au pôle, renflé vers l'équateur. Pour supprimer toute idée de surface de révolution, on peut supposer que la terre est une sphère surchargée d'un appendice qu'on nomme *ménisque*, ayant 2 myriamètres 1/2 d'épaisseur à l'équateur, et finissant à rien vers les pôles. Si l'axe et l'équateur changent, comme il faut nécessairement que la terre soit renflée à l'équateur, l'océan va de suite se soulever vers les nouvelles régions équatoriales, et s'élever de 2 myriamètres 1/2. Si donc la Sibérie avait été autrefois à l'équateur, la surface du sol, pour ne pas être inondée, y aurait en sus une élévation de 2 myriamètres 1/2; or, la Sibérie n'a seulement pas une montagne de 300 mètres au-dessus du niveau de la mer, et si elle venait à l'équateur, elle serait tout entière sous l'eau, et chargée d'un océan de 2 myriamètres de profondeur, de sorte que tout, à sa surface, serait anéanti, comme si elle y avait été primitivement; la température y acquerrait une grande force, mais elle n'aurait lieu que sur l'océan qui recouvrirait sa surface. Il suit de là que la prétendue explication du rhinocéros et de l'éléphant est absurde.

L'examen de ces animaux a prouvé qu'ils différaient à certains égards de ceux des pays chauds; le rhinocéros de Sibérie avait de très-longs poils; l'éléphant avait tout le corps garni d'une longue laine, comme une espèce de fourrure très-épaisse. Or, à l'équateur, le rhinocéros n'a pas un poil, et l'éléphant, que tout le monde connaît, a une peau fort épaisse formant une sorte de croûte absolument dégarnie de duvet laineux; de sorte que la fourrure de celui de Sibérie semblerait indiquer une espèce actuellement détruite, particulière aux pays froids. Mais sans admettre cette hypothèse, M. Élie de Beaumont a expliqué comment des éléphants ou autres animaux des pays chauds pourraient se trouver

transportés dans les plaines glacées de la Sibérie. Il pense, comme nous l'avons déjà dit, et c'est l'opinion admise aujourd'hui, que les montagnes se sont formées par des soulèvements. Supposons que des montagnes couvertes de neige entourent des vallées abritées situées vers le centre de l'Asie, où ces animaux puissent par conséquent exister, et où M. Humboldt s'est assuré qu'on avait tué des tigres du Bengale, qui vont même jusqu'aux monts Altaïs. S'il arrive un soulèvement produit par des feux souterrains, il se dégagera des vapeurs chaudes, la neige fondra, et il s'établira un vaste courant qui noiera les animaux des vallées. Cette eau, ayant la température de la glace fondante, sera très-froide, et les garantira de la putréfaction; ainsi le courant pourra les amener, dans un état de conservation, du Thian-chan, centre de l'Asie, à l'Océan glacial en 5 ou 6 jours. Cette opinion est la plus probable, et non celle qui suppose l'éléphant lancé comme un projectile, de la zone torride aux régions polaires, par suite du choc de la comète contre la terre, auquel cas l'animal n'aurait pas été putréfié à la vérité, mais écrasé et anéanti par une telle chute.

17. Halley, qui avait cru expliquer, par le choc des comètes, plusieurs des phénomènes qu'offre notre globe, ayant remarqué que le mercure gèle quelquefois à Quebec, croyait que le pôle était autrefois vers cette ville qui avait conservé une partie de sa température primitive. Mais Halley, qui publia son mémoire peu de temps après la découverte de la côte orientale de l'Amérique, ne savait pas que la côte orientale de l'Asie offrait le même phénomène. Par conséquent l'explication qu'il a donnée pour l'un tombe d'elle-même, puisqu'elle ne peut s'appliquer à tous les deux à la fois, et que tout ce qu'il a dit en faveur de l'un convient à l'autre, mot pour mot.

18. Halley voulut encore expliquer par le choc d'une comète la dépression qu'on observe près de la mer Caspienne. Le Wolga coule vers cette mer avec une grande lenteur, et offre le long de son cours un grand nombre de points habités et secs, quoiqu'à 100 mètres au-dessous du niveau de l'océan. Halley connaissait le phénomène; il savait aussi qu'un boulet qui ricoche laisse une dépression à la surface de la terre. Il supposait donc qu'une comète était venue, comme un énorme boulet, choquer la terre près de la mer Caspienne, sous un angle aigu, et avait, en ricochant, mar-

qué son passage par une dépression d'une grande étendue. Or, il résulte de toutes les questions précédemment résolues, que la terre n'a pas été choquée par une comète, surtout ayant une masse sensible par rapport à celle de la terre, et que si un pareil choc avait eu lieu, il aurait produit d'autres catastrophes qu'une dépression à la surface du sol. Voici comment on peut supposer que le phénomène a eu lieu. Nous avons déjà dit qu'une île était sortie de la Méditerranée, et s'était enfoncée ensuite. S'il se formait dans le détroit de Gibraltar une île qui fermât l'entrée de la Méditerranée, comme les fleuves et les rivières qui s'y jettent ne lui amènent pas une quantité d'eau égale à celle qu'elle perd par l'évaporation, alors l'Océan, qui vient combler le déficit par un courant continu de l'ouest à l'est, n'étant plus en communication avec elle, son niveau baisserait successivement. Par conséquent il surgirait de nouvelles plages qui, selon la date plus récente de leur émersion, seraient de plus en plus au-dessous du niveau de l'Océan, jusqu'à ce que la surface de la mer fût réduite au point de perdre par l'évaporation une quantité d'eau égale à celle amenée par les fleuves. Alors le niveau redeviendrait constant, et toutes les terres de nouvelle formation offriraient une dépression que leur desséchement rendrait encore plus sensible. Telle paraît avoir été la cause de la grande dépression des environs de la mer Caspienne. On peut dire encore qu'elle provient de la réaction du soulèvement de toutes les grandes chaînes de montagnes situées, dans les régions circonvoisines, de l'occident au centre de l'Asie occupé par les monts Himalaya, les plus hautes montagnes connues, et qui ont été primitivement sous l'eau, car il ne serait pas possible d'expliquer autrement la formation des productions marines, telles que coquillages, plantes, etc., qu'on trouve dans ces montagnes, et dont l'examen attentif prouve qu'elles y ont crû, s'y sont développées, et y ont péri comme dans leur station naturelle.

19. En 1832, la comète de Biela passa par un point de l'orbite terrestre un mois après le passage de la terre par le même point. Parmi ce grand nombre de comètes qui circulent dans notre système planétaire, il est naturel de rechercher quelles sont les chances pour que l'une d'elles vienne à rencontrer la terre. Si la distance périhélie de toutes les comètes était plus grande que le rayon de l'orbite terrestre,

une pareille rencontre serait à jamais impossible. La chance n'a donc lieu que pour celles dont le périhélie est plus près de nous que le soleil, et la probabilité sera dans le rapport des volumes du noyau de la comète et du globe terrestre. La comète de Biela ou de 1811, celle qui s'est le plus approchée de nous, ayant un diamètre égal au quart du diamètre de la terre, le calcul montre qu'il y a 281 millions à parier contre un qu'elle ne la touchera pas ; et cependant, de toutes les comètes observées, c'est encore elle qui a le plus de chances. Ainsi quand une comète paraît dans l'orbite terrestre, et qu'on ne sait rien de plus sur la loi de son mouvement, la chance pour qu'elle rencontre la terre est précisément la même, selon la comparaison de M. Arago, que celle qu'une personne aurait, pour être mise à mort, de tirer la boule noire fatale et unique renfermée dans une urne avec 281 millious de boules blanches. Il n'est donc pas raisonnable de concevoir par suite de l'apparition d'une comète plus de craintes que n'en ferait naître une pareille épreuve.

20. On a quelquefois soulevé la question suivante : La terre peut-elle devenir le satellite d'une comète ? A la rigueur c'est possible, mais peu probable. Si une comète, offrant une grande masse, venait à passer dans le voisinage de la terre, elle pourrait s'emparer de ce globe, qui, soumis dès lors à l'attraction de la comète, l'accompagnerait dans sa course autour du soleil, dont il serait ainsi tantôt très-voisin, tantôt très-éloigné. La comète de 1759 a son périhélie situé à la moitié de la distance de la terre au soleil ; et son aphélie est une fois plus éloigné de cet astre que la planète Uranus. La comète de 1680, sur laquelle Newton reconnut la loi du mouvement des comètes, et qui est une des plus grosses observées dans ces derniers temps, offre à un plus haut degré des distances extrêmes par rapport au soleil. Si l'on représente par 1000 la distance du soleil à la terre, 6 de ces parties représenteront la distance périhélie de cette comète, et sa distance aphélie sera exprimée par 138000. Newton, cherchant les températures qu'elle devait éprouver dans une orbite aussi étendue, trouva qu'elle devait acquérir au périhélie une chaleur égale à deux mille fois celle d'un fer rouge, et ressentir à l'aphélie un froid prodigieux. Voyons donc l'effet qui résulterait de l'absorption de la terre par

cette comète, et les suites de cette vraie catastrophe. La haute température que subit la comète à son périhélie ne prouve pas que si la terre était forcée de l'accompagner dans sa course, ses habitants seraient rôtis et brûlés. Il y a des circonstances dont Newton a négligé de parler et dont il faut cependant tenir compte dans la réalité. S'il y a de l'eau dans le globe qui vient à une distance aussi rapprochée du soleil, et que cette eau puisse être assimilée à une mer d'une certaine étendue, elle se vaporisera, et formera un épais rideau de nuages qui garantira les habitants de l'ardeur des rayons solaires. Tel le Péruvien, sous la ligne équinoxiale, est ombragé par un dais de vapeurs qui lui rendent ce séjour très-supportable. Ainsi la matière de la terre, venant à être aussi voisine du soleil que la comète, n'acquerra pas cette température égale à deux mille fois celle du fer rouge, qu'elle aurait en réalité, d'après Newton, si elle était dépourvue d'eau. Une autre considération importante est que nous sommes organisés de manière à pouvoir supporter momentanément une chaleur très-considérable. Sans parler de tous ces charlatans que nous voyons tenir du feu ou marcher sur des barres de fer rouge, etc., nous rapporterons seulement trois faits pleinement constatés.

Vers le milieu du siècle dernier, le gouvernement français fut effrayé d'une maladie qui attaquait les blés surtout dans le midi, et fit craindre la famine. Pour remédier au mal, il envoya dans le midi des membres de l'Académie française, qui s'arrêtèrent dans une petite ville de la Guienne, et reconnurent que la maladie des blés provenait de l'introduction d'un insecte dans chaque grain. Il s'agissait de détruire cet insecte sans altérer le blé. Les académiciens imaginèrent de torréfier le blé, en le soumettant à une température capable de tuer l'insecte. Ils firent donc chauffer des fours progressivement après y avoir mis le blé, qu'on laissait exposé à l'action de la chaleur tant que l'insecte était en vie, et qu'on retirait seulement après sa mort. Mais pour torréfier le blé le moins possible, il fallait l'ôter du four précisément lors du degré de température qui avait été capable de tuer l'insecte, et connaître ce degré pour qu'on pût faire partout cette opération de la même manière. Il fallait donc voir le degré que le thermomètre marquait dans le four à cette époque. Comme les académiciens avisaient au moyen d'y

parvenir, une jeune fille, les voyant embarrassés, s'offrit d'aller lire ou noter dans le four le degré marqué par le thermomètre, disant que les habitants apportant leurs plats pour les faire cuire, c'était elle qui les plaçait convenablement, et les retirait ensuite à mesure que chacun venait prendre le sien. On la laissa faire, et l'on vit qu'elle pouvait supporter une température de 50° au-dessus de l'eau bouillante.

Des physiciens anglais élevèrent des doutes sur la réalité de ce résultat et voulurent s'en assurer par leur propre expérience. Ils entrèrent donc dans une chambre, se mirent tout nus, et la chambre étant chauffée progressivement, ils purent supporter une chaleur de 137°. Pour qu'on ne doutât pas que la température de la chambre ne fût réellement très-élevée, ils y suspendirent des biftecks qui cuirent en se desséchant, tandis qu'ils n'éprouvèrent eux-mêmes aucun inconvénient de la chaleur, parce qu'ils suaient. Nous pouvons donc, pour un temps assez court, subir une température bien supérieure à celle de l'eau bouillante.

Enfin, en novembre 1837, un médecin anglais tomba, au milieu des ravages d'un incendie, dans un vaste alambic en cuivre, et supporta une chaleur estimée à 145°, son thermomètre ayant été brisé lorsqu'il marquait 130°, une demi-heure avant qu'il fût retiré de cet alambic dont la température allait toujours croissant. Il estima que la température de son corps ne s'était pas élevée au-delà de 45°.

Quant au froid que l'on doit éprouver à l'aphélie de la comète de 1680, il doit être considérable sans doute, la comète n'y recevant qu'une lumière seulement égale à seize fois celle de la lune, laquelle a été trouvée sans action sur le thermomètre à air, étant même concentrée au foyer des plus fortes lentilles. Mais ce froid ne serait pas tel que nous ne pussions le supporter. Les hautes régions de l'espace ne sont guère, d'après les calculs du savant Fourrier, qu'à une température de 50° au-dessous de zéro. Or le capitaine Parry et ses compagnons, dans leur tentative pour aller au pôle, ont subi un froid pareil. Ils ont eu des mois dont la température moyenne a été de 35° au-dessous de zéro, et dont la plus basse a été de 50°, ce qu'ils ont vérifié avec des thermomètres, non à mercure, mais à alcool. Newton suppose que le froid de la comète de 1680 à son aphélie serait diminué par la chaleur qu'elle aurait acquise à son périhélie, et qui se conserverait

en partie jusque-là ; mais c'est une erreur. La chaleur des étés emploie six mois pour atteindre la profondeur de 9 mètres au-dessous de la surface du sol ; là on trouve que les saisons sont renversées. Le *maximum* de température y a lieu au cœur de l'hiver. La comète, restant très-peu de temps au périhélie, ne sera que superficiellement affectée par la chaleur solaire, et ne pourra la conserver. Au reste, on voit d'après ce qui précède, que le froid de l'aphélie sera supportable, et qu'ainsi, en supposant que la terre devienne le satellite de cette comète, nous pourrons résister aux deux extrêmes de température qui ont lieu au périhélie et à l'aphélie ; de sorte que l'espèce humaine ne serait pas anéantie par cet événement, qui n'en serait pas moins une catastrophe épouvantable par ses résultats immédiats, comme de porter de suite notre année à une période de 76 ou de 575 ans, selon que la comète absorbante serait celle de Halley ou celle de 1680. Mais cette catastrophe n'est pas probable.

21. Au milieu de tous les malheurs qu'entraînerait la rencontre d'une comète avec la terre, ne pourrait-il pas arriver que la rencontre eût lieu de manière à produire, au moins par la suite, un événement heureux ? D'abord il faudrait que le choc s'exécutât excessivement doucement pour ne pas anéantir l'espèce humaine. Supposons qu'il en soit ainsi, et que l'effet de la rencontre soit de faire coïncider le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Comme c'est leur inclinaison qui cause la différence de température, et produit les quatre saisons, si cette inclinaison était nulle, il n'y aurait plus qu'une saison, un printemps perpétuel. Mais il ne faut pas que ce mot induise en erreur. La température moyenne de Londres est la même que celle de Paris ; mais à Londres le temps est toujours plus ou moins brumeux et moins clair qu'à Paris ; par conséquent, il doit y faire moins froid l'hiver et moins chaud l'été que dans notre capitale, ce qui a réellement lieu. De là résulte que les fruits des deux villes sont très-différents, car certains fruits ont besoin, pour mûrir, de coups de soleil, qui sont toujours plus forts par des temps très-clairs. La coïncidence de l'écliptique et de l'équateur ferait baisser la température ; on n'aurait plus de coups de soleil, ni les fruits qu'ils procurent, et peut-être y perdrait-on.

FIN.

Table

PAR ORDRE DE MATIÈRES

DISPOSÉE

D'après les chapitres et les numéros du programme de l'Université.

CHAPITRE DEUXIÈME.

De la terre.

CHAPITRE TROISIÈME.

Du soleil.

CHAPITRE QUATRIÈME.

De la lune.

CHAPITRE CINQUIÈME.

Mouvement des planètes.

CHAPITRE SIXIÈME.

Mouvements réels de la terre.

PREMIER APPENDICE SUR LES PRÉTENDUES INFLUENCES DE LA LUNE.

DEUXIÈME APPENDICE SUR LES PRÉTENDUES INFLUENCES DES COMÈTES.

FIN DE LA TABLE.

Pl. I

Fig 1 Fig 2 Fig 3 Fig 4

Fig 5 Fig 6 Fig 7 Fig 8 Fig 9

Fig 10 Fig 11 Fig 12 Fig 13 Fig 14

Fig 15 Fig 16 Fig 17 Fig 18 Fig 22

Fig 19 Fig 20 Fig 21

Pl. II

Fig 23 Fig 26 Fig 27

Fig 24 Fig 25 Fig 28 Fig 29

Fig 30 Fig 31 Fig 32

Fig 33 Fig 34 Fig 35



1 Le Soleil. 2. Mercure. 3. Vénus. 4 La Terre et la Lune 5 Mars. 6 Vesta 7 Junon. 8. Cérès 9 Pallas. 10 Jupiter 11 Saturne 12 Uranus
a b c Comètes d Vue de Vénus e Vue de Mars f Vue de Jupiter g Vue de Saturne

PLANISPHÈRE.



